

ЭКОЛОГИЯ

Под редакцией профессора С.В. Белова

*Допущено Учебно-методическим объединением
по классическому университетскому образованию
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности «Биоэкология»
и техническим специальностям*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2006

ББК 28.08
Э40

Авторы:

М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, А.П. Пестряков, М.И. Кроленко,
Е.В. Титов

Рецензенты:

д-р биол. наук, профессор В.Н. Максимов;
д-р биол. наук О.П. Мелехова

Экология: Учеб. пособие / М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, Э40 А.П. Пестряков и др.; Под ред. проф. С.В. Белова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 240 с: ил.

ISBN 5-7038-2863-5

В пособии изложены основы общей экологии, закономерности действия экологических факторов, особенности экологии популяций, сообществ и экосистем; описаны основные среды жизни, биогеохимические циклы важнейших биогенных элементов, адаптация живых организмов к различным условиям жизни; рассмотрены принципы экологического мониторинга и нормирования, влияние неблагоприятных экологических факторов на здоровье человека, глобальные экологические проблемы.

Пособие основано на материалах лекций, которые авторы читают в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Для студентов, изучающих дисциплину «Экология».

УДК 574:4
ББК 28.08

© М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, А.П. Пестряков,
М.И. Кроленко, Е.В. Титов, 2006

© Оформление. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006

ISBN 5-7038-2863-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Природа развивается по своим законам как единое целое. Масштабное воздействие человека на природные процессы в условиях ускорения научно-технического прогресса неизбежно приводит к возникновению экологических кризисов, определяемых сравнительно ограниченной способностью биосферы к самовосстановлению. Единственно возможный путь развития человечества связан с выходом на уровень научно обоснованной стратегии отношений «человек - общество - биосфера».

Цель экологического образования и воспитания - формирование у каждого человека на всех этапах его жизни экологических знаний, целостных представлений о биосфере, понимание органической взаимосвязи и единства человека и окружающей среды, роли природы в его жизни, необходимости охраны и рационального использования природных ресурсов.

Гармонизация взаимоотношений человека и природы важна для решения не только собственно экологических, но и других проблем. Экологически обоснованные решения являются в то же время и социально значимыми, поскольку сам человек, являясь частью природы, существовать без нее не может.

Преподавание дисциплины «Экология» в высших учебных заведениях технического профиля - методически сложная задача, поскольку курс должен сформировать четкое и целостное представление о структуре и функционировании экосистем и биосферы в целом у студентов, не имеющих, как правило, достаточных базовых знаний в области естественных наук. Поэтому пособие содержит основные положения экологии в сочетании с наиболее существенными понятиями биологии, биогеохимии, географии, климатологии, океанологии и т. д.

Авторы книги - преподаватели кафедры экологии и промышленной безопасности МГТУ им. Н.Э. Баумана - биологи по специальности, имеют большой опыт экологических исследований. Большой опыт экологических исследований авторов позволил изложить фундаментальные основы экологии на современном уровне. При подготовке пособия особенно полезными были книги американского эколога Ю. Одума* и российского ученого Л.С. Степановских**.

Введение, разделы 2, 4-6, 8, 10, 15 и заключение написаны М.Н.Корсаком и С.А. Мошаровым; разделы 1 и 3 - С.А. Мошаровым и А.П. Пестряковым; разделы 7, 13 и 16 - М.Н.Корсаком и М.И. Кроленко; разделы 9 - С.А. Мошаровым и Е.В. Титовым; разделы 11 и 17 - М.Н.Корсаком; разделы 12 и 14 - С.А. Мошаровым.

*Одум Ю Экология: В 2 т. / Пер. с англ.: М.: Мир, 1986.

**Степановских А.С.Общая экология, М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.

ВВЕДЕНИЕ

К началу XXI в. биосфера Земли вступила в эпоху глобального экологического кризиса, вызванного интенсификацией индустриального воздействия человечества на окружающую среду, что привело к истощению природных ресурсов и к загрязнению биосферы техногенными отходами производства. В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений необходимость самого широкого экологического образования населения, в первую очередь будущих молодых специалистов, призванных не только эксплуатировать природные ресурсы биосферы, но и сохранять окружающую среду в состоянии, обеспечивающем устойчивое развитие человеческого общества. Формирование экологического мировоззрения является необходимым условием преодоления нынешних и будущих кризисных ситуаций в природной среде. Для этого необходимо четко представлять основные закономерности формирования и поддержания природной среды в естественных и антропогенно измененных условиях и допустимые пределы воздействия человеческого общества на среду.

При рассмотрении экологических проблем необходимо разделять три базовых понятия: экология, охрана природы и природопользование. Понятие «экология» охватывает систему научных знаний о природной среде. Охрана природы включает как соответствующую законодательную деятельность, так и организационные и научно-технические мероприятия, обеспечивающие поддержание экологического равновесия и благоприятной среды обитания. Ключевым в понятии «природопользование» является устойчивое воспроизводство природных ресурсов и условий, необходимых для жизнедеятельности человека. Иначе говоря, оно относится к экономическим и технологическим аспектам взаимодействия человека и природы. Очевидно, что эффективность охраны природы и возможность устойчивого природопользования определяются уровнем фундаментальных знаний об экологических процессах, т. е. уровнем развития экологии.

Учебники и учебные пособия по экологии, которых насчитывается в России более двух десятков, можно условно разделить на две группы. Издания, относящиеся к первой из них, ориентированные на студентов биологических и медицинских специальностей, как правило, содержат курс экологии, рассчитанный на узких специалистов, которые в будущем будут профессионально заниматься опре-

деленными разделами экологии. Учебники и учебные пособия второй группы рассчитаны на студентов технических специальностей - будущих инженеров, призванных обеспечить технический прогресс и устойчивое функционирование современного индустриального общества. Не вдаваясь в особенности программ по экологии для этих двух категорий студентов, можно утверждать, что курс экологии в технических университетах должен содержать основы фундаментальной экологии - необходимую теоретическую базу для углубленного изучения более узких специальных дисциплин.

Инженерно-технические специалисты в силу специфики своей деятельности призваны создавать новые технологии и различные механизмы, воздействующие на окружающий мир, поэтому базовое экологическое образование для них крайне необходимо и должно быть ориентировано на сохранение окружающей среды обитания на основе понимания основных закономерностей функционирования природных экологических систем. Иными словами, учебное пособие для студентов технических университетов, в первую очередь, должно быть ориентировано на расширение их экологического кругозора и знакомство с основными понятиями и законами экологии, проблемами взаимодействия природы и цивилизации, вопросами негативного воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения, принципами оценки состояния, охраны и мониторинга природной среды.

Большинство вышедших в последние годы учебников и учебных пособий по курсу «Экология» посвящено прикладным аспектам экологии с очень кратким изложением основ общей экологии, либо, наоборот, авторы пытаются слишком подробно представить всю совокупность знаний об окружающей среде и природных экосистемах. Не отрицая необходимости преподавания основ рационального природопользования и охраны природы, мы стремились обеспечить баланс между разделами фундаментальной и прикладной экологии.

Лекция 1 посвящена истории развития взаимоотношений человеческого общества и природы. Рассмотрены основные черты адаптации хозяйственной деятельности человека к природным условиям на стадии охотничье-собирательской культуры; показаны последствия адаптации природных экосистем к системам хозяйства на стадии земледельческой культуры и рассмотрены современные формы человеческой деятельности, приводящие к преобразованию природных экосистем

в глобальных масштабах (индустриальное общество).

Во второй лекции определены общие задачи экологии, рассмотрены основные фундаментальные и прикладные разделы, отражающие широкий спектр научной и хозяйственной деятельности человека, изложены законы Коммонера, которые сжато, формулируют особенности взаимодействия человека и природы.

Лекция 3 содержит основные характеристики среды обитания живых организмов - биосферы, которая охватывает всю гидросферу, нижнюю часть атмосферы и верхний слой литосферы. Кратко излагаются основные положения учения выдающегося русского ученого В.И. Вернадского о биосфере, в том числе о главенствующей роли живых организмов в формировании и поддержании современных физико-химических условий на Земле.

Лекции 4-7 посвящены рассмотрению экологических факторов (условий окружающей среды), определяющих границы существования живых организмов в биосфере. Большое внимание уделено общим и специфическим закономерностям воздействия важнейших абиотических, биотических и антропогенных факторов на живые организмы. Рассмотрены пределы положительного действия абиотических факторов на организмы (пределы толерантности); особенности взаимовлияния организмов одного и разных видов (биотические факторы), специфика негативного воздействия различных антропогенных (физических, химических и биологических) факторов на здоровье населения.

Совокупность условий существования организмов существенно различается в четырех средах жизни: водной, наземно-воздушной, почвенной и организменной (лекции 8-9). В каждой из этих сред рассмотрены специфические экологические факторы, в наибольшей степени определяющие условия жизни. Показано, что не только среда обитания влияет на условия жизни организмов, но и сами организмы формируют среду, активно участвуя во многих геохимических круговоротах химических элементов в биосфере.

В 10 лекции рассмотрены биогеохимические циклы основных биогенных (жизненно важных) элементов (углерода, азота, фосфора, серы) и участие живых организмов в круговоротах этих веществ. На большом фактическом материале показаны возможные экологические последствия нарушения сбалансированности круговорота веществ.

Основные количественные характеристики популяции (величина и плотность популяции, рождаемость, смертность, кривые выживания) рассмотрены в теме 11; проанализированы различные экологические стратегии развития популяций в эволюции биоценозов и экосистем.

Лекции 12-13 посвящены основам структурно-функционального единства природных экосистем, биоценоза и биотопа. Показано значение главных биоценологических компонентов экосистемы (автотрофов и гетеротрофов) и их участие в потоках энергии и круговороте веществ в экосистемах. Определены общие закономерности изменения интегральных и структурных компонентов экосистем в процессе эволюционного развития экосистем в ходе автотрофных и гетеротрофных, первичных и вторичных сукцессий.

В темах 14-15 освещены вопросы контроля качества и мониторинга природной среды, обоснована необходимость контроля и нормирования антропогенных воздействий на окружающую среду, введено понятие экологического мониторинга как информационной системы наблюдений, рассмотрены отдельные виды мониторинга (локальный, региональный, глобальный, фоновый).

Лекция 16 содержит анализ глобальных экологических проблем современности: демографический кризис; урбанизация; загрязнение природной среды; эрозия почв и потеря ими плодородия; разрушение озонового слоя; антропогенное изменение климата (парниковый эффект); уменьшение биологического разнообразия; снижение устойчивости природных экосистем.

В лекции 17 рассмотрены основные характеристики городской экосистемы, выделены специфические экологические факторы, воздействующие на состояние этой экосистемы, а также на здоровье человека.

Изучение этого пособия позволит будущим специалистам инженерно-технического профиля создавать новые технологии и различного рода механизмы с учетом требований экологической безопасности, минимизируя негативное влияние промышленной деятельности на биосферу.

1. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ (ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Для того чтобы лучше понять современные проблемы взаимоотношений людей и окружающей среды, целесообразно проследить, как они складывались на разных этапах развития человеческого общества.

Каждая общественная система в историческом аспекте строится на каком-либо основании, которое считается главным. Например, это могут быть производственные отношения, уровень производительных сил и т. д. Рассматривая взаимоотношения человека и природы при изучении курса экологии, необходимо выделить следующие исторические этапы.

- *Непосредственное единство человека с природой* (охотничье-собирательская культура). На этом этапе формируется трудовая деятельность человека (изготовление орудий труда из природных тел как первый способ целенаправленного преобразования окружающей среды). В процессе совершенствования орудий труда и развития общественных форм жизни происходит переход к охоте.

- *Неолитическая революция* (аграрная культура) - переход к скотоводческо-земледельческому хозяйству (выращивание сельскохозяйственных культур и одомашнивание животных).

- *Промышленная революция* - утверждение индустриального производства как главенствующего и развитие техники как эффективного способа преобразования природы.

- *Переход к главенству производства информации* и, в далекой перспективе, возможная гармонизация взаимоотношений человека и природы в постиндустриальном обществе в процессе создания экологической цивилизации.

Охотничье-собирательская культура. Вид *Homo sapiens* (человек разумный) сформировался примерно 100 тыс. лет назад. Около 10-15 тыс. лет назад человечество расселилось по всему современному ареалу его обитания. Общая численность населения Земли к началу мезолита (около 10 тыс. лет назад) составляла 3-5 млн. чел., а средняя плотность населения - 0,05 чел./км².

Ограниченная численность живущих на планете людей позволяла им удовлетворять свои жизненные потребности, не изменяя существенно образом при-

роду. Основу жизни человеческого общества в этот период составляло собирательство готовых продуктов природы (кореньев, ягод, морепродуктов и т. д.), а также охота на крупных животных. Отходы жизнедеятельности первобытных охотников-собираателей быстро утилизировались природными комплексами организмов (в том числе микроорганизмов), так как были исключительно органическими и небольшими по объему.

Использование людьми огня нередко приводило к опустошительным пожарам и смене растительности на обширных территориях, однако ощутимого влияния на биосферу эти изменения не оказывали.

Земледельческо-скотоводческое общество (аграрная культура). Аграрная культура охватывает эпоху с появления сельского хозяйства (около 8 тыс. лет до н. э.), когда основой материального производства были земледелие и скотоводство, до возникновения промышленного производства в середине XVIII в. н. э.

На протяжении многих сотен тысячелетий нестабильность охотничьего хозяйства вынуждала людей искать новые источники обеспечения своего существования. В результате примерно 10-12 тыс. лет назад на базе предшествующего собирательства урожай диких злаков возникло земледелие. Параллельно с развитием земледелия шло приручение домашних животных, используемых для получения мяса, молока и шерсти. Первоначально земледелие и скотоводство возникли на Ближнем Востоке, в среднем ярусе горных систем, окаймляющих полукольцом Месопотамскую низменность (в так называемом Полумесяце плодородия). Оттуда они стали распространяться в Северную Африку, Юго-Восточную Европу и в глубь Азии. Независимые очаги земледелия и скотоводства сформировались несколько позже в Восточной и Юго-Восточной Азии, Центральной Америке, и отсюда производящее хозяйство распространилось во всех направлениях. Процесс этот был длительным и продолжался вплоть до начала III тысячелетия до н. э.

С появлением первых сельскохозяйственных культур можно говорить и о формировании на Востоке первых цивилизаций, сменивших варварство. Развитие земледелия и скотоводства часто приводило к глубокому преобразованию ландшафта, например в Междуречье (Месопотамии) несколько тысячелетий тому назад.

Переход к аграрной (сельскохозяйственной) культуре называют *неолитической революцией*, так как человек перешел от присваивающей экономики (охотничье-собирающего хозяйства) к экономике производящей. *С экологической точки зрения присваивающее хозяйство - адаптация человеческого общества к природным экосистемам, тогда как производящее хозяйство - это адаптация природных экосистем к системам хозяйства.*

С возникновением сельского хозяйства в начале неолита воздействие человека на биосферу увеличилось во много раз, что привело к небывалому демографическому росту. Бесспорно, это была технологическая революция в истории человечества, благодаря которой в разных частях света были заложены основы классовой структуры общества.

Влияние аграрной цивилизации на природную среду. Распространение сельскохозяйственных культур оказало катастрофическое воздействие на большое число наземных экосистем и вызвало первое серьезное антропогенное потрясение биосферы: ускорилось изменение состава животного мира, сопровождавшееся вымиранием крупных представителей фауны (которых пастухи считали конкурентами домашних животных), а также изменился первоначальный растительный покров на обширных площадях. Лесные экосистемы сменялись сначала пастбищами, а затем полями сельскохозяйственных культур.

Массовое уничтожение лесов и нерациональное использование земель умеренных и тропических зон безвозвратно разрушили сложившиеся экосистемы на огромных территориях. Боязнь лесов, свойственная человеку в средние века, вылилась в уничтожение их различными цивилизациями во всех частях света. Например, в Китае в настоящее время только 5 % площади покрыто лесами, тогда как в начале неолита леса занимали не менее 90 % его территории.

Создание человеком искусственных агроэкосистем, основу которых составляют культурные растения и животные, сопутствовало приручению ограниченного числа животных; часть из них использовалась как тягловая сила. В результате значительно увеличилась масса пищи, производимой на единице поверхности, и количество механической энергии, поступающей в распоряжение человека.

Возникновение сельского хозяйства позволило вести оседлый образ жизни, способствовало увеличению плотности населения и образованию первых поселе-

ний. В то время как охотнику палеолита для поддержания жизни была необходима площадь около 20 км², что требовало сильного рассредоточения населения, земледельцу было достаточно нескольких гектаров земли. К тому же люди научились сохранять запасы зерна, и это способствовало переходу от кочевого образа жизни к оседлому.

Экологические последствия деятельности неолитических земледельцев и скотоводов были весьма разнообразны. Выжигание растительного покрова в эпоху неолита приобрело громадные масштабы. Оно применялось для расширения пастбищ за счет лесных участков при подсечно-огневом земледелии. Сжигание срубленных деревьев приводило к удобрению почвы золой и давало возможность собирать обильные урожаи даже при очень неглубокой обработке почвы. Однако плодородие почвы при этой системе земледелия быстро убывало, в результате чего через несколько лет (иногда через один-два года) приходилось вырубать новые участки леса. Подсечно-огневое земледелие приводило к обширным пожарам, в которых выгорали большие территории леса, погибало много животных и формировались новые экосистемы. Распашка земель приводила к разрушению естественных местообитаний многих животных, в результате чего одни виды исчезали, а другие концентрировались вокруг участков с культурными посевами, где им были обеспечены богатые корма.

Сельскохозяйственные животные также оказали огромное влияние на природные комплексы. Конкурируя с дикими копытными животными, они вытесняли их с естественных пастбищ. В то же время скопление большого количества крупного рогатого скота на ограниченных участках, расположенных в непосредственной близости к человеческим поселениям, приводило к сведению травяного покрова. Чрезмерный выпас скота уничтожал растительность сухих степей и саванн, которые затем часто приобретали черты полупустынь и пустынь.

Органическое истощение почв в результате выращивания сельскохозяйственных культур, вырубка лесов при заготовке древесины, истощение растительности лугов и пастбищ в результате выпаса домашних животных - все это, в конечном счете, вызывало эрозию почв, надолго выводившую их из хозяйственного оборота.

Отмечаемые в эпоху существования аграрной культуры плавные колебания в численности населения связаны, по-видимому, с изменением количества доступной пищи. Однако на протяжении всей истории земледельческих обществ наблюдались и резкие изменения численности, которые в ряде случаев совпадали с войнами, но чаще возникали из-за вспышек эпидемий и голода.

Повышение плотности населения (в IX в. население Земли насчитывало примерно 250 млн. чел.) создавало благоприятные условия для распространения различных инфекционных болезней, которые стали главным фактором, регулирующим численность населения.

Потребление энергии людьми к концу неолита увеличилось в 100 тыс. раз по сравнению с концом палеолита. Образование родов вело к концентрации в них населения, активизации экономической и культурной жизни, организации систем снабжения продовольствием и коммуникаций. Городская среда существенно изменила окружающую природу, вызвав масштабные возмущения в окружающей среде: окультуривание ландшафта необратимо изменяло его структуру и видовой состав биоценозов; выброс отходов производства, вырубка лесов и интенсификация земледелия приводили к истощению почвы; расширение зон выпаса скота сопровождалось сведением растительности на больших территориях.

Ирригационно-мелиоративные работы давали возможность резко повысить урожайность полей, но одновременно приводили к региональным экологическим кризисам и гибели цивилизаций. Именно ошибки в ирригационном строительстве были, как считают современные историки, причинами упадка и гибели Вавилонского государства. В настоящее время накоплено большое количество данных о том, что древнейшие цивилизации гибли в результате не только эпидемий, нашествий завоевателей, но и разрушения окружающей среды.

Влияние антропогенных изменений природной среды на аграрные цивилизации. Одна из первых цивилизаций в истории человечества возникло в северо-западной Индии (III - II тысячелетие до н.э.) Центры этой цивилизации (Хаппа, Мохенджо-Даро и др.) находятся в районах занятых сейчас пустыней. Высказывалось предположение, что в прошлом эти области представляли собой сухие степи, где были благоприятные условия для развития животноводства и некоторых видов земледелия.

Неумеренный выпас скота в эпоху древней цивилизации привел к разрушению растительного покрова, что обусловило повышение температуры и понижение относительной влажности нижних приземных слоев воздуха. В результате уменьшилось количество осадков, что сделало невозможным возобновление растительного покрова. Не исключено, что антропогенные изменения климата могли быть одной из причин исчезновения и древнейшей цивилизации Индии.

Другой пример относится к изменениям природных условий в бассейне Средиземного моря в античную эпоху, в начале которой на территории Греции и ряда других средиземноморских стран существовали обширные леса, которые затем были частично вырублены или уничтожены в результате неумеренного выпаса скота. Эти процессы усилили эрозию почвы, привели к полному уничтожению почвенного покрова на горных склонах, увеличили засушливость климата и значительно ухудшили условия сельскохозяйственного производства. В данном случае изменение природных условий не привело к разрушению античных цивилизаций, однако оказало глубокое влияние на многие стороны жизни человека в античное время.

Истощение почв на территории центрально-американского государства майя как следствие подсечно-огневого земледелия явилось одной из причин гибели этой высокоразвитой цивилизации. Заселившие Центральную Америку европейцы нашли в тропических джунглях многочисленные города, уже давно покинутые их жителями.

Приведенные примеры, ряд которых можно продолжить, относятся к случаям необратимого ухудшения человеком условий окружающей среды, т. е. речь идет об *антропогенных экологических кризисах*.

Под экологическим кризисом понимают необратимые изменения биосферы или ее частей на значительном пространстве, сопровождающиеся изменением среды обитания.

Влияние экологических кризисов на развитие человеческого общества было двояким. Так, с одной стороны, они ухудшали условия жизни человека, а с другой - создавали стимулы общественного прогресса. Это относится, в частности, к *кризису верхнего палеолита*: прекращение охоты на крупных животных в конечном

счете ускорило возникновение новых, гораздо более эффективных видов хозяйственной деятельности, - скотоводства и земледелия.

Отмеченное выше значительное ухудшение условий земледелия в ряде средиземноморских стран античного времени оказало определенное влияние на развитие мореплавания, ремесел и других видов не сельскохозяйственного производства.

Необходимо отметить, что биосфера Земли неоднократно переживала острые кризисные периоды, обусловленные чисто природными явлениями. Наиболее известен *кризис в конце мелового периода* (70-100 млн. лет назад), когда в геологически короткий промежуток времени вымерли различные группы рептилий (динозавры, птерозавры, ихтиозавры, плезиозавры), включавшие не менее 35 семейств и большое количество видов.

С появлением человека как особого биологического вида и последовательным развитием человеческого общества происходят экологические кризисы антропогенного (не природного) типа. В хронологическом порядке можно выделить следующие антропогенные экологические кризисы все возрастающего масштаба.

1. В верхнем палеолите и несколько позднее человек уничтожил ряд видов крупных млекопитающих: пещерных медведей, бизонов и мамонтов в Евразии, лошадей в Северной Америке, возможно, гигантских ленивцев (мегатерий) в Южной Америке, гигантских травоядных сумчатых в Австралии и др. Этим ограничивалось негативное воздействие человека на экосистемы того времени.

2. Переход к производящему хозяйству привел уже к изменению природных ландшафтов. Специфические с обедненным видовым составом антропогенные агроландшафты стали вытеснять природные экосистемы. Начали вырубаться лесные массивы, опустыниваться степные ландшафты. Происходило засоление почвенных площадей в районах орошаемого земледелия.

3. С появлением государства вышеперечисленные негативные процессы резко ускорились, что приводило уже к более масштабным, но пока еще локальным, экологическим кризисам в зоне влияния древнейших цивилизаций, большинство из которых базировалось на орошаемом земледелии. Эти процессы наряду с появлением рабства со временем вызвали упадок ряда

древних государств.

4. Западноевропейская цивилизация в эпоху промышленной революции привела к появлению нового типа экологического кризиса, связанного в первую очередь с загрязнением среды различными промышленными отходами. Поскольку индустриальное хозяйство становится доминирующим во всех регионах Земли, современный экологический кризис приобретает глобальный характер.

Несмотря на возрастающую роль городов и интенсивную индустриализацию, большинство населения Земли существовало за счет сельского хозяйства. В связи с этим воздействие человека на природу существенно не менялось вплоть до середины XIX в., когда благодаря многочисленным научным открытиям в период зарождения капитализма было положено начало современной индустриальной цивилизации.

С момента появления первых аграрных цивилизаций неолита и до середины XIX в. деятельность человека в Европе основывалась на эксплуатации земель и ограниченной деятельности ремесленников, использовавших главным образом растительные материалы и небольшое количество металлов (железо, медь и др.). Экосистемы были еще достаточно разнообразны и почти не изменены хозяйственной деятельностью человека: дикие прерии, целинные земли, леса. Ограниченные районы многоотраслевого хозяйства представляли собой незначительные территории. Вся продукция, потребляемая человеком, трансформировалась в отходы, разрушаемые в результате биохимических процессов при участии различных организмов-редуцентов (сапрофитных бактерий, грибов, насекомых и т. п.), которые превращали органические отходы в простые минеральные вещества (углекислый газ, воду, фосфаты, нитраты). Таким образом полностью самоочищались воды и земли, и круговорот веществ в экосистеме не нарушался. Приток солнечной энергии, получаемой человеком в виде химической энергии при питании (около 4000 ккал/сут на одного человека), составлял примерно такое же количество энергии, которое человек использовал в виде тепла (сжигание дров в домашних очагах) и механической (тягловая сила) энергии.

В период аграрной цивилизации антропогенная экосистема обладала способностью к авторегуляции биологической системы при изменении условий сре-

ды. Поэтому деятельность людей в сельскохозяйственном обществе вписывалась в биогеохимический круговорот элементов и не изменяла потока энергии в биосфере.

В древнем обществе было два основных экологических кризиса:

1) эрозия и засоление почв как следствие интенсивного земледелия в аридных (засушливых) зонах;

2) деградация растительных сообществ в результате перевыпаса скота и подсечно-огневого земледелия и, как следствие, ухудшение почв и опустынивание огромных территорий.

Индустриальное общество. До XVIII в. противоречие между человеком и природой нарастало главным образом в сельскохозяйственной сфере. Новыми факторами обострения экологической ситуации стали развитие капиталистического способа производства и индустриализация.

С начала XVIII в. был сделан целый ряд научных открытий, обусловивших расцвет современного промышленно развитого общества. С этого времени структура экономики основных европейских стран быстро менялась, так как изобретались первые паровые машины, использовалась более производительная техника, что способствовало росту промышленных предприятий. Тогда же были введены в обиход новые растительные культуры, что повысило эффективность земледелия и животноводства. Все эти нововведения были предвестниками радикального изменения отношений между человеком и природой.

Благодаря применению машин резко увеличилось промышленное и сельскохозяйственное производство, что привело к повышению уровня жизни и увеличению численности населения (до 954 млн чел. в 1800 г.).

В XIX в. существенно возросли объемы выработки железной руды и угля, в результате чего изменился ландшафт и произошло загрязнение окружающей среды в районах добычи полезных ископаемых.

В этот период начался процесс *урбанизации*, который особенно интенсивно идет в наше время. *Урбанизация* (от лат. *urbanus* - городской) - процесс сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах. Многие новые города, образовавшиеся в XIX в. вокруг промышленных предприятий, превратились впоследствии в крупные промышленные центры. На протяжении всего этого сто-

летия продолжалось совершенствование городской инфраструктуры: развивалась система транспортных коммуникаций, строились дороги, мосты. Строительный материал добывался в каменоломнях, в окрестностях городов вырубался лес, необходимый для постройки деревянных сооружений. Все это постепенно разрушало естественные ландшафты. Природные ландшафты сменялись антропогенными, в большей степени приспособленными для проживания современного человека.

Этот период развития человеческой цивилизации называют *эпохой Великих географических открытий*, приведших к заселению новых земель европейцами.

При непосредственном участии человека происходило массовое распространение отдельных видов животных и растений на новые территории. Во многих случаях растения распространялись за пределы культурных посевов и внедрялись в природные экосистемы, оказывая существенное влияние на формирование и изменение видового состава биологических сообществ. Кроме того, развитие массовых коммуникаций на Земле приводило к неконтролируемому человеком расселению животных и насекомых (например, кроликов, колорадского жука), а также растений, которые часто оказывали неблагоприятное воздействие на экосистемы и человека. Следует также иметь в виду, что высокая концентрация населения в городах была одним из факторов распространения вирусных и бактериальных инфекций, вызывавших обширные эпидемии и пандемии, в результате которых умирало большое количество людей.

Вторую половину XVIII в. и весь XIX в. принято называть *эпохой естествознания*. В это время происходил небывалый расцвет наук о Земле (геологии, географии, биологии, химии, физики и др.), сформировался эволюционно-исторический подход к анализу явлений природной и социальной действительности. Многие исследователи - представители различных научных направлений и специальностей - разрабатывали отдельные аспекты предмета будущей единой экологической науки. Немецкий естествоиспытатель и философ Э. Геккель* в 1866 г. ввел термин «экология» (в работе «Всеобщая морфология организмов»), которым обозначил новую отрасль знания о взаимоотношениях организмов и окружающей среды. Происходило накопление данных о влиянии, оказываемом при-

родой на человека и человеком на природу.

Изучение структуры и функционирования природных экосистем, измененных в современном промышленно развитом обществе, позволяет выделить *три основных источника воздействий*, которые нарушают саморегуляторные (гомеостатические) возможности экосистемы и ее естественное равновесие:

- уменьшение видового разнообразия (численности видов);
- нарушение круговорота веществ;
- извлечение из литосферы и распространение на обширные территории редких элементов (ртуть, свинец, молибден и др.).

Строительство городов и выращивание на больших пространствах сельскохозяйственных монокультур приводят к разрушению остатков дикорастущей растительности, уничтожению лесов и болот, бесполезных с точки зрения современного человека. Изменение природной среды приводит к почти полному вытеснению из экономически развитых районов земного шара диких животных.

В большинстве экосистем, оказавшихся в зоне влияния человеческой деятельности, нарушается круговорот веществ, так как многие вещества, входящие в состав техногенных отходов, ранее не встречались в живой природе и поэтому не разрушаются организмами-редуцентами. К естественным элементам, циркулирующим между различными средами биосферы, человек добавил значительное количество искусственных. Такие вещества часто являются токсичными и подавляют деятельность микроорганизмов в воде и почве, что приводит к нарушению биогеохимических циклов многих природных веществ и к деградации экосистем.

Так, массовое и все возрастающее использование ископаемого топлива уже вызвало глубокие изменения круговорота углерода и серы. Извлечение из литосферы различных минералов (например, сырья для удобрений), редких металлов (ртуть, свинец) и многих других химических элементов привело к тому, что эти элементы в значительных количествах перераспределены в воздухе, воде и почве, вызывая в случаях высокой концентрации пагубные последствия.

Таким образом, в ходе исторического развития человеческого общества объемы извлекаемых из биосферы минеральных веществ и энерговооруженность

* Геккель Эрнст (1834-1919) - немецкий биолог-эволюционист, представитель естественнонаучного материализма, сторонник и пропагандист учения

человечества непрерывно возрастали и на современном этапе эволюции биосферы привели к возникновению новой (искусственной) оболочки Земли - техносферы.

Техносфера - часть географической оболочки Земли, охваченная влиянием технических устройств и средств, созданных современной цивилизацией. Она включает населенные пункты, фабрики, дороги, нефте- и газопроводы, системы связи, электростанции, ирригационные и дренажные сооружения, сельскохозяйственные угодья и т. д. Почти все городское население Земли проживает в техносфере, условия обитания в которой существенно отличаются от условий биосферы и в которой природные ресурсы (или продукты их первичной обработки) превращаются в общественно полезную продукцию. Несовершенство техники и технологий приводит к тому, что одновременно с полезным продуктом в десятикратном объеме образуются отходы производства в виде газообразных выбросов в атмосферу, загрязненных сточных вод, твердых веществ (материалов). Неизбежность образования отходов при современном промышленном производстве как основы функционирования техносферы и негативное влияние большинства отходов на биосферу составляют суть *проблемы отходов* в современном мире.

При помощи специальных технологий из отходов производства частично могут быть извлечены полезные компоненты, которые используются непосредственно в сфере потребления или поступают на какое-либо предприятие в виде вторичных материальных ресурсов. Однако на современном уровне развития техники и технологий не удается избежать выбросов отходов производства в биосферу. В среднем в конечный продукт, потребляемый обществом, переходит 1,5 % от общего количества веществ, вовлекаемых в производство. Все остальное составляют отходы, которые выбрасываются в биосферу и нарушают естественные процессы в экосистемах. Попадая в атмосферу, гидросферу, литосферу, отходы производства и потребления изменяют естественный фоновый состав природной среды, т. е. являются загрязнителями биосферы.

В течение длительного периода развития общества влияние промышленных предприятий на окружающую среду и возникновение связанных с ним экологических угроз не изучались. И только повсеместное загрязнение атмосферы, почвы, водоемов токсичными химическими веществами, вымирание огромного числа ви-

дов живых организмов, потепление климата, «озоновые дыры», загрязнение пищевых продуктов пестицидами, новые болезни заставили человечество осознать необходимость экологизации техносферы. Одно из главных перспективных направлений экологизации - создание малоотходных и безотходных технологий и производств, т. е. предотвращение загрязнения окружающей среды непосредственно в технологическом цикле вместо улавливания загрязнителей на очистных сооружениях. Сущность безотходной технологии заключается в том, чтобы без снижения производительности обеспечить экологическую безопасность промышленных предприятий.

В течение относительно короткого интервала времени невозможно заменить все существующие технологии, используемые в промышленности, на новые - «экологически чистые» - технологии, не загрязняющие биосферу. Поэтому на начальном этапе экологизации техносферы становится актуальной задача управления воздействием промышленных предприятий на окружающую среду.

Один из путей решения общепланетарных экологических проблем - реализация стратегии *устойчивого развития*, провозглашенной на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992 г.), в которой приняли участие главы 114 государств.

Устойчивое развитие - это такое развитие, которое позволяет удовлетворять потребности живущих поколений, но не ставит под угрозу возможность будущих поколений удовлетворять их.

В основе концепции устойчивого развития лежит положение о том, что только в мире со здоровой социально-экономической средой может быть здоровая окружающая среда. В основном документе Конференции («Повестка дня на XXI век») рассматривается широкий круг вопросов, которые должны обеспечить такое развитие человеческого общества на перспективу. Это и экологические вопросы (предотвращение изменения климата, обеспечение пресной водой, борьба с опустыниванием, сохранение лесов, сохранение биологического разнообразия, экологическое образование и т. л.) и вопросы от которых прямо или косвенно зависит решение экологических проблем (разработка и внедрение соответствующих промышленных и сельскохозяйственных технологий, борьба с бедностью, изменение структуры потребления и т. д.).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие этапы выделяются в истории взаимоотношений человека и природы?
2. Что такое «экологический кризис»?
3. Охарактеризуйте основные экологические последствия деятельности земледельцев и скотоводов эпохи неолита.
4. Почему развитие аграрной цивилизации привело к первому в истории антропогенному экологическому кризису? В чем он выразился?
5. На каком этапе развития общества антропогенное влияние на круговорот веществ становится необратимым?
6. Какой фактор обострения экологической ситуации становится главным в индустриальном обществе?
7. Дайте определение техносферы.
8. В чем суть стратегии устойчивого развития?

2. ЭКОЛОГИЯ КАК НАУКА

Слово «экология» происходит от греч. oikos - дом, убежище, местообитание и греч. logos - наука.

Экология - наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают.

Объектом исследований в экологии являются экологические системы (экосистемы), включающие взаимосвязанные и взаимодействующие компоненты: живые организмы, продукты их жизнедеятельности, объекты окружающей среды. Для того чтобы понять, как функционируют экологические системы, какие существуют взаимосвязи между отдельными группами организмов и факторами окружающей среды в настоящее время, используют специальную научную методологию. Речь идет о системном анализе, как базовом методе в экологии, основанном на исследовании связей между элементами экосистем. Под системой в данном случае, понимается вся совокупность элементов, находящихся в разнообразных взаимоотношениях друг с другом и образующих определенную целостность, т. е. структурно-функциональное единство.

К 30-м годам XX в. изучение живых систем, сообществ организмов, отдельных организмов и их частей позволило ученым сформулировать ключевые принципы системного мышления. Первый и наиболее общий принцип системного мышления заключается в переходе от изучения частей к изучению связей, объединяющих отдельные части в единое целое.

Для системного подхода чрезвычайно важны не только сами объекты исследований, но и сложнейшие сети взаимоотношений между ними, создающие целое (систему). В результате существования подобных взаимоотношений целое всегда больше суммы его частей.

Предметом экологии является структура связей между элементами экосистем - живыми организмами разного уровня организации (отдельные организмы, популяции, сообщества) - и средой их обитания.

Уровни организации живой материи. Живые организмы обладают рядом признаков, которые отсутствуют у неживых систем: *единство химического со-*

става - 98 % химического состава приходится на углерод, кислород, азот и водород;

обмен веществ и энергии - использование внешних источников энергии в виде пищи, света и пр. Основу обмена составляют взаимосвязанные и сбалансированные процессы синтеза (ассимиляции) и разрушения (диссимиляции) органических веществ;

самовоспроизведение и наследственность, в основе которых лежит способность к образованию новых биологических молекул и структур в организме в соответствии с наследственной информацией, содержащейся в дезоксирибонуклеиновых кислотах (ДНК).

Помимо указанных признаков живые организмы характеризуются *изменчивостью*, создающей разнообразный материал для отбора наиболее приспособленных организмов; *способностью к росту и развитию*, а также *раздражимостью*, т.е. ответной реакцией живых организмов на внешнее воздействие.

Для живой материи характерны различные уровни ее организации: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный - между которыми существует сложное иерархическое соподчинение. Рассмотрим основные характерные особенности указанных уровней организации живой материи.

Молекулярный уровень. Каждый организм, как бы сложно он ни был устроен, состоит из различных биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, жиров, углеводов и других важных органических веществ. На этом уровне проходит граница между живым и неживым, начинаются разнообразные процессы жизнедеятельности организма: обмен веществ, превращение энергии, передача наследственной информации и пр.

Клеточный уровень. Все организмы структурно состоят из клеток - элементарных структурных единиц, имеющих сходное строение. Клетки обладают всеми свойствами живой системы: они осуществляют обмен веществом и энергией, растут, размножаются, реагируют на внешние раздражители.

Организменный уровень. Элементарной единицей этого уровня является особь. Как бы ни различались организмы между собой, все они состоят из клеток, объединенных в ткани, из которых состоят органы. Организм представляет собой

гораздо более сложную живую систему, которая способна активно поддерживать упорядоченность внутренних структур, реагировать на изменения окружающей среды и приспосабливаться к среде обитания.

Популяционно-видовой уровень - совокупность однородных организмов, связанных единством происхождения, образом жизни и местом обитания (т. е. организмы одного биологического *вида*). На этом уровне выделяются *популяции* - относительно изолированные группы организмов одного вида, занимающие определенную территорию.

Биогеоценотический или экосистемный уровень. Биогеоценоз - совокупность организмов разных видов и факторы среды их обитания. На этом уровне действуют законы межвидовых отношений. В результате взаимодействия биоценоза и окружающей среды образуется экологическая система (*экосистема*).

Биосферный уровень. Биосфера - совокупность всех экосистем (биогеоценозов) на планете Земля со всеми сложными связями и взаимоотношениями между составляющими их частями.

Основное содержание современной экологии - изучение количественных закономерностей взаимоотношений организмов друг с другом и окружающей средой на популяционном, биоценотическом и биосферном уровнях.

Основные задачи экологии. Их можно сформулировать следующим образом:

1) изучение общих закономерностей взаимодействия живых организмов между собой и окружающей средой;

2) исследование особенностей взаимодействия между популяциями организмов и различными типами биологических сообществ разных географических зон;

3) исследование закономерностей формирования и изменения структурно-функциональной организации сообществ и экосистем в процессе их исторического развития;

4) изучение пределов устойчивости природных экосистем и закономерностей их адаптации к антропогенному воздействию.

Наука экология подразделяется на *общую и прикладную*.

Общая экология - наука о наиболее общих закономерностях взаимоотношений организмов и их сообществ со средой обитания. Она включает в себя такие разделы, как экология особей (*аутэкология*), экология отдельных популяций (*популяционная экология*), учение об экосистемах (*синэкология*), учение о биосфере (*глобальная экология*). В настоящее время *экология человека* выделяется в самостоятельный раздел *общей экологии*, что связано со специфическими связями между человеком и средой его обитания. *Социальная экология* как составная часть экологии человека представляет собой комплекс научных отраслей, в которые входит изучение связи человека с природной и социальной средой его обитания.

Прикладная экология - раздел экологии, посвященный изучению процессов антропогенного влияния на природную среду и последствий этого влияния. К ней относятся *инженерная и сельскохозяйственная экология; промышленная экология; медицинская экология; охрана природы; экологическая экономика природопользования.*

Экология, как и всякая наука, имеет два аспекта. Первый - это стремление к познанию закономерностей развития природы, второй - применение полученных знаний для решения проблем, связанных с сохранением окружающей среды. Стремительное повышение значимости экологии в современной жизни объясняется тем, что ни один из практических вопросов природопользования (строительство новых промышленных объектов, разработка и использование природных ресурсов, сельскохозяйственное производство) нельзя правильно решить без учета и прогноза возможных негативных изменений существующих фундаментальных связей между живыми и неживыми компонентами природы. Только фундаментальные экологические знания могут обеспечить создание научной основы рациональной и экологически безопасной эксплуатации природных ресурсов. Пренебрежение законами, составляющими основу функционирования и сбалансированности естественных природных процессов в биосфере, приводит к серьезным, порой катастрофическим последствиям для природы и человека.

В качестве примера можно привести известный случай проявления так называемой *болезни Минамата*. В 50-е годы XX в. в японскую бухту Минамата в большом количестве сбрасывались сточные воды азотного завода, содержащие

ионы ртути. Предполагалось, что разбавленные в морской воде стоки не будут представлять никакой опасности для человека и природы. Однако в морской бухте в результате жизнедеятельности микроорганизмов образовалось значительно более токсическое соединение - метилртуть, которое активно включалось в пищевые цепи «мелкие водные организмы - рыба - пища человека» с возрастанием концентрации метилртути в конечных звеньях (*эффект биоаккумуляции*). В результате при незначительной начальной концентрации ионов ртути в морской воде рыба, попадавшая на стол рыбакам, была уже отравлена метилртутью. И только гибель нескольких десятков и заболевание сотен людей заставили власти потребовать, чтобы фирма, сбрасывавшая в бухту стоки с ртутью, признала свою вину и выплатила компенсацию пострадавшим.

В истории развития экологии выделяют четыре этапа:

- накопление знаний о жизни организмов и взаимоотношениях растений и животных в окружающей их среде;
- создание экологического направления в границах ботанической географии и зоогеографии в первой половине XIX в.;
- формирование экологии растений и животных как науки об адаптации во второй половине XIX и в начале XX в.;
- становление экологии как общебиологической науки, объектом исследования которой являются экосистемы различных уровней, начиная с 30-х годов XX века.

Одновременно с развитием человеческого общества накапливались данные о разнообразии живых существ, обитающих на Земле, и взаимоотношениях растений и животных. Даже первобытные люди уже имели представление о животных, их поведении и образе жизни. Первые попытки обобщить имеющуюся информацию о различных живых организмах отражены в работах античных философов. Так, Аристотель описал свыше 500 видов животных и рассказал об их поведении, о зимней спячке рыб, перелетах птиц, строительной деятельности животных, паразитизме кукушки и т. д. Теофраст привел сведения о зависимости формы и особенностей роста растений от почвы и климата.

Великие географические открытия в эпоху Возрождения и колонизация новых территорий послужили толчком к развитию систематики, описанию растений

и животных, их внешнего и внутреннего строения. В XVIII в. в зоологии и ботанике начали появляться элементы нового подхода к изучению организмов - их образ жизни изучали в природных условиях. Так, Ж. Бюффон изучал проблемы влияния внешних условий на строение животных. Ж.Б. Ламарк создал эволюционное учение, согласно которому прежде всего под влиянием внешних условий происходит эволюция животных и растений. В первой половине XVIII в. в работах С.П. Крашенинникова, И.И. Лепехина, П.С. Палласа и других русских географов и натуралистов указывалось на взаимосвязанные изменения климата, растительности и животного мира в разных частях России.

В начале XIX в. экологическое мышление продолжало развиваться, чему способствовало появление биогеографии. Профессор Московского университета К.Ф. Рулье (1814-1858 гг.) пропагандировал необходимость изучения и объяснения жизни животных их сложных взаимоотношений с окружающим миром. Труд его ученика Н.А. Северцева «Периодические явления в жизни зверей птиц и гадов Воронежской губернии» (1855 г.) был первым в России глубоким экологическим исследованием животного мира отдельного региона.

Большую роль в развитии естествознания, в частности экологии, сыграла книга Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород, в борьбе за жизнь», напечатанная в 1859 г., в которой показано, что «борьба за существование» в природе приводит к естественному отбору, т. е. является движущим фактором эволюции. Менее чем через 10 лет Э. Геккель первым в своей работе употребил термин «экология», который лишь к концу XIX в. вошел в научный оборот. Во второй половине XIX в. содержание экологии заключалось только в изучении образа жизни животных и растений и их адаптации к климатическим условиям. В 1877 г. К. Мёбиус обосновал представление о биоценозе как о закономерном сочетании организмов в определенных условиях среды.

В первой половине XX в. вопросами взаимоотношений живых организмов с окружающей средой занимались специалисты в области ботаники, зоологии, почвоведения, географии, палеонтологии, геохимии и др. Вместе с тем авторы работ в этих отраслях знаний не считали свои исследования относящимися к области экологии. В 1935 г. А. Тенсли ввел в научный оборот понятие «экосистема», а в

1942 г. В.Н. Сукачев обосновал понятие «биогеоценоз». В 1942 г. Р. Линдеман предложил основные методы расчета энергетического баланса экосистем, которые позволили ученым разных стран подсчитывать максимальную биопродуктивность всей планеты, т. е. природный фонд органического вещества, находящийся в распоряжении человечества, и максимально возможные нормы изъятия биопродукции для нужд растущего населения Земли.

На современном этапе развития экологии методологической основой исследований служит целостный, интегрированный подход на биосферном уровне, предложенный выдающимся русским ученым В.И. Вернадским. Этот подход ориентирован на изучение специфических характеристик сложных организованных объектов (систем), многообразия связей между элементами, их разнокачественности и соподчинения.

Благодаря развитию новой экосистемной экологии пришло четкое осознание того, сколь велика зависимость человеческого общества от состояния природы на нашей планете. Стало предельно ясно, что необходимо перестраивать экономику промышленно развитых стран с учетом экологических законов.

С середины XX в., человечество вступило в эпоху глобального экологического кризиса, который был обусловлен экспоненциальным ростом народонаселения Земли, истощением не возобновляемых природных ресурсов (в первую очередь энергоресурсов), некомпетентной экологической политикой правительств различных стран. Непродуманное, обусловленное только сиюминутными экономическими или политическими интересами вмешательство человека во все сферы природы значительно увеличило опасность необратимых негативных изменений в экосистемах. Так, в СССР в 80-х годах XX в. из-за нерационального использования воды рек Сыр-Дарья и Аму-Дарья уровень Аральского моря снизился на 15 м, объем воды при этом уменьшился на 50 %. В результате здесь практически прекратился рыбный промысел. Более того, за падением уровня воды в море последовали снижение уровня грунтовых вод в сухопутных районах Приаралья и гибель пойменных лесов, падение продуктивности кормовых угодий, обеднение видового состава животных и растений (из 180 видов обитавших здесь промысловых животных осталось только 30). В итоге непродуманной экологической политики исчез залив Кара-Богаз-Гол в Каспийском море, произошло исчезновение

уникальных природных экосистем и резкое ухудшение (аридизация) климата прилегающих территорий.

Таким образом, игнорирование фундаментальных экологических законов функционирования и развития природных экосистем в процессе взаимодействия человека и природы может иметь катастрофические последствия, как для биосферы, так и для человека. Особую тревогу вызывают масштабы современных энергозатрат человечества. Так, по разным оценкам, за 1 год население Земли расходует энергетических ресурсов в 10 раз больше, чем их запасается за это же время в биосфере в результате процессов фотосинтеза.

Ниже приведены примеры негативного воздействия хозяйственной деятельности человека на природу.

1. *Уменьшение биологического разнообразия.* За последние 2000 лет существования человека было истреблено 106 видов животных, а за последние 300 лет - около 50 видов.

2. *Сокращение лесной зоны, создающей основную массу кислорода в процессе фотосинтеза.* Потребление атмосферного кислорода людьми в настоящее время составляет около 23 % ежегодной его выработки биосферой и скоро сравняется с ней. При этом основной источник кислорода на Земле - зеленый пояс лесов - катастрофически быстро уменьшается. Масштабы уничтожения лесов давно превзошли масштабы их воспроизводства в природе: площади лесов в Европе за последние 500 лет сократились в три раза; в процессе строительства трансконтинентальной дороги, пересекающей центральную часть Южной Америки, вырубается тропические джунгли, являющиеся своеобразными «легкими» биосферы.

3. *Изменение содержания различных газов в атмосфере Земли.* За последние 150 лет в результате интенсивного использования в качестве топлива угля и нефти на 25 % возросла концентрация углекислого газа. Увеличение концентрации парниковых газов (водяного пара, углекислого газа, метана и пр.) привело к усилению парникового эффекта и глобальному потеплению климата, а через 50 лет может привести к повышению уровня Мирового океана на 1,0 м в результате таяния ледников Антарктиды, в результате чего окажутся затопленными многие прибрежные районы.

4. *Загрязнение среды обитания (почвы, атмосферного воздуха, воды) токсическими веществами.* Возрастает площадь земель, занятых промышленными отходами, и увеличивается загрязненность сельскохозяйственных продуктов различными токсикантами. Возрастает загрязненность атмосферного воздуха (в основном за счет выбросов промышленных предприятий и автомобильного транспорта), что приводит к росту заболеваний населения: аллергических, онкологических, верхних дыхательных путей. Выброс хлор-фторуглеродов (фреонов) в атмосферу, используемых в хладогенераторах, приводит к разрушению защитного озонового слоя Земли, увеличению интенсивности жесткого ультрафиолетового излучения, губительного для всего живого, росту онкологических заболеваний кожи.

Несмотря на катастрофические и порой необратимые процессы, развивающиеся в разных странах в сфере экологии, существуют и отдельные положительные тенденции. Так, в некоторых странах Европы и Америки успешно реализуются проекты по восстановлению разрушенных природных ландшафтов и земельных угодий, превращенных в техногенные свалки, очищаются водные экосистемы. Например, 40 лет назад река Темза была одной из самых грязных в Европе. В настоящее время в результате жестких законодательных мер эта река настолько очистилась, что в нее заходят лососи. В США в результате целенаправленной природоохранной политики практически прекратился процесс деградации экосистем Великих озер и во многих случаях восстановились исходные экологические сообщества.

В целях сохранения уникальных природных экосистем во многих странах, в том числе и в России, созданы национальные биосферные заповедники, успешно развиваются программы экологического образования учащихся начиная с начальных классов. Межгосударственными соглашениями регламентируются квоты добычи морепродуктов, выброс парниковых газов (углекислого газа, метана, оксида азота и пр.).

Во многих странах действует система норм природопользования и охраны окружающей среды, включающая, в частности, плату за пользование природными ресурсами, существенные тарифы за загрязнение, административную и уголовную ответственность за нанесение ущерба природным системам. Кроме того,

важную роль играют общественные природоохранные движения и фонды экологического образования.

Среди многих нерешенных до сих пор глобальных проблем одной из главных является поддержание надежности функционирования природных экологических систем. Предотвратить необратимое катастрофическое изменение экологических систем можно лишь путем тщательного экологического планирования, обеспечивающего сохранение естественного равновесия в природных комплексах в результате уменьшения антропогенной нагрузки.

Американский эколог Б. Коммонер в своей работе «Замыкающий круг» (1974) предложил в афористической форме ряд экологических положений, которые впоследствии стали называть *законами экологии*. Законы эти в основе своей известны, так как вытекают из общих законов сохранения вещества и энергии. Их соблюдение - обязательное условие любой деятельности человека, связанной с природой. Вот эти законы.

I. Все связано со всем. Воздействие на какую-либо часть экосистемы может вызвать изменение в другой ее части, порой географически удаленной. В результате трансграничных атмосферных переносов загрязняющие вещества разносятся за тысячи километров от места их производства. Например, компоненты чрезвычайно опасного загрязняющего вещества ДДТ обнаружены в теле пингвинов в Антарктиде, такие токсические вещества, как полихлорированные бифенилы, - в печени рыб, обитающих в самых чистых районах Мирового океана.

II. Все должно куда-то деваться. Этот закон вытекает из закона сохранения материи и позволяет по-новому взглянуть на проблему образования отходов. Извлечение огромных количеств веществ из недр, сопровождается, как правило, десятикратным загрязнением окружающей среды. Так, в ходе получения 1 т металла образуется 10 т отходов пустой породы.

III. Природа знает лучше. Существующие природные экосистемы не следует изменять в целях их улучшения (поворачивать реки вспять, создавать новые моря в пустынях и т. д.), поскольку это может привести только к нарушению исторически сложившихся связей в экосистемах и общему ухудшению экологической ситуации.

IV. Ничто не дается даром (за все надо платить). Этот закон объединяет предыдущие три закона. Самое опасное, что, воздействуя на процессы функционирования природных экосистем, человек далеко не всегда может предвидеть результаты этого воздействия. Так, использование современных антиэкологических биотехнологий в животноводстве (скармливание коровам в виде костной муки отходов со скотобоен) привело к возникновению неизвестных ранее *прионовых болезней* (болезней бешенства коров) - принципиально нового типа заболеваний, вызванного патогенными белками.

Контрольные вопросы и задания

1. Что изучает наука экология и как она связана с охраной природы?
2. Основные задачи экологии.
3. В чем познавательное и прикладное значение экологии?
4. Охарактеризуйте «законы Коммонера» и сформулируйте их основное содержание.

3. СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ

Каждая наука имеет свою область изучения. Для экологии это *биосфера* - сфера жизни, т. е. часть планеты, которая включает совокупность живых существ и в которой возможна жизнь.

Понятие биосферы было введено австрийским ученым Э. Зюссом в 1875 г. Стройное учение о биосфере было создано выдающимся русским ученым В.И. Вернадским. Основы этого учения были изложены в 1926 г. в книге «Биосфера», где рассмотрены свойства «живого вещества» и его функции в формировании современного облика Земли. В составе биосферы В.И. Вернадский выделил четыре ре основных типа разных, но взаимосвязанных веществ:

косное вещество - геологические образования, не созданные живыми организмами;

живое вещество - вся совокупность биологической массы живых организмов на Земле;

биокосное вещество - комплексы тесно взаимодействующих элементов живого и косного вещества, например почва;

биогенное вещество - геологические породы, созданные в результате жизнедеятельности живых существ (известняки, песчаники, железные руды, каменный уголь, нефть и т. п.).

Таким образом, по В.И. Вернадскому, биосфера представляет собой одну из геологических оболочек Земли, в которой происходит взаимодействие живого и косного вещества планеты.

Земля имеет форму геоида, сплюснутого у полюсов. Под влиянием гравитации Земля движется по орбите и вращается вокруг своей оси, от чего зависят земной год, смена времен года, дня и ночи и их длительность. Этим обуславливаются не только основные ритмы на нашей планете, но и ее термодинамика. Под влиянием притяжения Луны и Солнца происходят морские приливы и отливы, оказывающие прямое воздействие на формирование прибрежных морских экосистем.

Биосфера включает в себя нижнюю часть *атмосферы*, всю *гидросферу* и верхнюю часть *литосферы*.

Атмосфера - газовая оболочка Земли, общая масса которой оставляет $5,27 \cdot 10^{15}$ т, является довольно надежным экраном, защищающим жизнь от космического холода и от воздействия высокочастотных компонентов солнечной и космической радиации.

По химическому составу современная атмосфера состоит из 78,08 % азота, 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,0324 % углекислого газа.

В стратосфере на высоте 15...30 км находится озоновый слой, где под воздействием высокочастотного ультрафиолетового излучения молекула кислорода (O_2) раскалывается на атомы, и в результате взаимодействия с молекулами кислорода образуется озон (O_3). Озоновый слой атмосферы играет очень важную роль при защите всего живого на Земле от губительного высокочастотного ультрафиолетового излучения.

Атмосферу подразделяют на: термосферу, стратосферу, тропопаузу, тропосферу. В состав биосферы входит лишь нижняя часть атмосферы - тропосфера, для которой характерно конвекционное движение воздуха. Верхняя граница тропосферы изменяется в течение года: летом она выше, зимой ниже. У полюсов верхняя граница тропосферы колеблется в диапазоне 8...10 км, у экватора - в диапазоне 16...18 км, в умеренных зонах - в диапазоне 9...12 км. Именно в тропосфере образуются облака и здесь сосредоточена основная масса водяного пара. Масса самой тропосферы составляет приблизительно 80 % массы всей атмосферы. Температура в тропосфере убывает с высотой (на $0,6$ °С на каждые 100 м) и на верхней границе тропосферы достигает $-50... -70$ °С

Между тропосферой и стратосферой существует слой в 1-2 км (тропопауза), где господствуют очень сильные струйные воздушные потоки воздуха, перемещающиеся со скоростью 150...300 км/ч. В стратосфере (втором слое атмосферы) практически нет водяных паров, ее температура медленно поднимается, достигая на верхней границе среднегодового значения 0 °С.

Температура воздуха в нижних слоях тропосферы является показателем *погоды* (кратковременных метеорологических условий местности) и *климата* (устойчивых годовых циклов погодных условий). Важную роль в формировании погоды и климата играют термодинамически активные примеси (ТАП) - перемен-

ные составные части атмосферы, способные сильно влияют на состояние воздуха и распределение в атмосфере тепла.

Важнейшей ТАП является водяной пар, что обусловлено особыми свойствами воды, прежде всего высокой теплоемкостью и большой энергией парообразования и конденсации. Весь водяной пар в атмосфере обновляется в среднем за один год 33 раза или один раз в 11 дней. Водяной пар очень быстро конденсируется в капли при понижении температуры (облака, туман) или на частицах пыли (смог). Водяной пар и особенно сформировавшаяся облачность усиливают парниковый эффект, пропуская солнечную радиацию до поверхности Земли и поглощая низкочастотное тепловое инфракрасное излучение из нижних слоев атмосферы. К особым свойствам воды в атмосфере можно также отнести, то что осадкообразование идет быстрее, чем испарение, поэтому, как правило, насыщение атмосферы водяным паром не происходит. Исключение составляют некоторые местности в экваториальной зоне Земли. Таким образом, водяные облака и осадки - это особенности проявления погоды на Земле. От них в значительной мере зависит климат.

Другой важный компонент ТАП в атмосфере - углекислый газ, который, как и водяной пар, способствует парниковому эффекту. Кроме того, в воздухе иногда появляются аэрозоли и пылевые облака, которые рассеивают солнечную радиацию и понижают температуру поверхности Земли, если пыль попадает выше тропосферы и, следовательно, медленно оседает. В целом по многолетним наблюдениям и расчетам среднегодовая температура воздуха у поверхности Земли в среднем составляет около 15 °С.

Следует отметить высокую стабильность газового состава атмосферы. Благодаря эффективному перемешиванию воздуха в результате естественных конвекционных процессов (до высоты приблизительно 100 км) газовый состав атмосферы достаточно однороден. Лишь выше 600 км (в верхней части термосферы) заметна утечка в космос наиболее легких газов - водорода и гелия. Если бы газовый состав не обновлялся, то весь газообразный водород исчез бы за 2000 лет, гелий - за 24 млн. лет.

Важнейшее значение для существования природных экосистем имеет теплообмен, происходящий между космическим пространством, атмосферой и поверхностью Земли, взаимодействующей с атмосферой.

Для поддержания своей постоянной температуры Земля должна отдавать в безвоздушное пространство столько же энергии, сколько получает ее от Солнца.

Атмосфера почти не прозрачна для инфракрасной радиации, которую она большей частью поглощает с помощью термодинамически активных примесей, прежде всего водяного пара и углекислого газа. Основная часть тепла исходит от земной поверхности в основном в результате конденсации водяных паров. Таким образом, вода в атмосфере и океане играет важную роль аккумулятора тепла и, в свою очередь, обуславливает конвекционные процессы в атмосфере и гидросфере. Мировой океан ослабляет суточные и годовые колебания температуры атмосферы. При этом годовые амплитуды температуры над материками значительно больше, чем над океанами.

Разница в нагревании Солнцем различных областей Земли приводит к движению ее оболочек - океана и атмосферы. Таким образом, Земля представляет собой как бы тепловую машину: ее нагреватель - Солнце, а холодильник - холод безвоздушного пространства. При этом тепловая энергия преобразуется в механическую работу - движение воздушных масс, океанических течений и испарение воды с поверхности океана.

Движение атмосферы и океанических вод перераспределяет энергию, полученную от Солнца, благодаря чему создается более равномерный климат Земли. Наиболее крупными элементами тепловой машины являются тропические пояса Земли (нагревательный элемент с положительным бюджетом тепла) и высокоширотные области (холодильник с отрицательным тепловым бюджетом). Воздух, нагретый в тропиках, поднимается в верхние слои атмосферы, затем устремляется к полюсам и, охлаждаясь там, опускается и возвращается к экватору вдоль поверхности Земли. Вследствие вращения Земли эти ветры отклоняются в юго-западном направлении в Северном полушарии и в северо-восточном - в Южном полушарии. В результате этого на Земле существует зона постоянных ветров со скоростью 5...7,5 м/с (пассаты) между широтами 25° и 5° в каждом полушарии.

Кроме того, давление воздуха и система ветров зависят от разницы прогрева моря и суши. В холодное время года нагревателем в тепловой машине служат наиболее теплые области океана, а холодильником - материка. В теплое время года ситуация меняется, материк нагревается быстрее океана и служит нагревателем, а океан - холодильником. Исключение составляют лишь Антарктида и Гренландия, которые из-за мощного материкового оледенения круглый год выполняют функции холодильника. Например, в январе над Азией и Северной Америкой появляется область высокого давления, в то время как над океаном давление понижено. Муссонная циркуляция над Индийским океаном в зимнее время в значительной степени определяется областью высокого давления над Азией, которая вызывает юго-западные ветры. Этот поток сухого воздуха вызывает сильное испарение над сушей и смежным океаном. В июле ситуация меняется: теперь ветры дуют с Индийского океана на северо-восток, т. е. в сторону материка. Влажный океанический воздух, достигая теплого материка, приносит с собой обильные осадки, которые называются муссонными дождями.

Тропические ураганы или тайфуны, средняя ширина которых достигает нескольких сотен километров, а высота 6...15 км, также появляются в результате работы тепловых машин. Нагревателем служат наиболее теплые участки океана, а холодильником - все окружающее их пространство. Речь идет о весьма устойчивых образованиях, засасывающих колоссальные массы воды и движущихся со скоростью нескольких десятков километров в час. Движение тайфунов сопровождается сильными ливнями с расходом воды, близким или в несколько раз превышающим годовую норму.

Аналогичный механизм тепловой машины обуславливает морские течения. Движущей силой служит разница температур и плотности (солености) воды, дополняемая эффектом вращения Земли. Картина течений осложняется конфигурацией материков, а также рельефом морского дна. Наиболее известные морские течения - Гольфстрим и Куроисио.

Закономерности образования влаги в атмосфере, процессы ее конденсации, формирования облаков и движение воздушных масс определяют характер распределения осадков над поверхностью континентов. Наибольшее количество осадков (2000...3000 мм) выпадает в экваториальной зоне, достигая максимальных значе-

ний (7000... 10 000 мм) в бассейне реки Амазонки, на островах Индонезии и в некоторых районах Индии. «Полнос дождливости» (12 000 мм) находится в Индии, в районе Черапунджи (2°3' с. ш. и 91°8' в. д.). Количество осадков в субтропиках и пустынных районах Северного полушария снижается до 250 мм, местами - до 100 мм.

Итак, атмосфера Земли, с одной стороны, защищает жизнь на Земле от космического холода и губительных высокочастотных ультрафиолетовых излучений, а с другой - включает в себя химические элементы, входящие в состав атмосферных газов, которые составляют важный биогеохимический резерв, необходимый при функционировании всех живых организмов.

Гидросфера, так же как и атмосфера, является важнейшей абиогенной оболочкой биосферы. В состав гидросферы, масса которой составляет около $1,46 \cdot 10^{18}$ т, обычно включают всю воду Земли в жидкой и твердой фазах.

Основную часть гидросферы - 94 % всей ее массы - составляют соленые воды Мирового океана, включающие Тихий, Атлантический, Индийский, Северный Ледовитый океаны. Остальная вода сосредоточена в ледниках и снежном покрове, в водах рек и озерах в подземных водах.

Объем вод *Мирового океана* - 1,37 млн км³, а площадь - 361 млн км² (почти 71 % поверхности Земли). Средняя глубина Мирового океана - 3795 м, максимальная - 11023 м. Если бы поверхность Земли была гладкой, то океан затопил бы сушу и имел глубину 2685 м, а его уровень был бы на 245 м выше современного.

В настоящее время средняя соленость морской воды составляет 35 г соли на 1 л воды, что очень близко к солености крови человека. Соленость Балтийского моря колеблется от 3 до 10 г/л. Самая соленая вода в Красном море - около 42 г/л.

Неравномерность нагрева поверхности Мирового океана и, следовательно, различная плотность вод, создают течения в океане (рис. 3.1). Наиболее мощные поверхностные течения тропической зоны океана приурочены к северу и югу от экватора - это *пассатные течения* (их скорость 50...70 см/с). Они создаются постоянно дующими мощными ветрами - пассатами (северный пассат - с северо-востока на юго-запад, южный - с юго-востока на северо-запад).

Там, где пассатные течения упираются в материки, они поворачивают и несут тропическое тепло в умеренные, иногда даже в полярные, климатические зо-

ны Земли. Согласно действию Кориолисовых сил морские течения в Северном полушарии отклоняются вправо, а в Южном - влево. Основные теплые течения, отходящие от пассатных течений: в северной части Атлантического океана - Гольфстрим, в южной части - Бразильское течение; в Тихом океане - Куроисио, аналог Гольфстрима. В Северном полушарии теплые течения заходят за полярный круг, а в Южном доходят лишь до 35° южной широты.

Западные воды тропической части Мирового океана являются наиболее теплыми и здесь формируются такие уникальные высокопродуктивные экосистемы, как коралловые рифы и острова (атоллы), в этих же частях, как правило, зарождаются и тропические циклоны (тайфуны, ураганы).

Пресные воды Земли - важнейшая для человека и высших животных часть гидросферы. В общем объеме гидросферы доля пресных вод составляет всего 6 %, из которых на долю подземных вод приходится около 4 %, а на льды покровных оледенений – около 2 %. Используемая человеком и вообще живыми организмами пресная вода в жидкой фазе (вода рек и озер) составляет лишь 0,02...0,03 % всего объема гидросферы.

Крупнейшая река мира - Амазонка. Она имеет мощность потока приблизительно 200 тыс. м³/с, что составляет около 16 % от стока всех рек. Самая многоводная река России - Енисей – несет воды приблизительно в 10 раз меньше, а Волга - в 25 раз меньше, чем Амазонка.

Крупнейшие озера мира: Каспийское море-озеро (площадь 376 тыс. км², максимальная глубина 1025 м), Байкал (31,5 тыс. км², 1620 м), Виктория (68,1 тыс. км², 80 м), Танганьика (32,9 тыс. км², 1470 м), Ньяса (30,8 тыс. км², 726 м), Великие озера Северной Америки - Верхнее, Гурон, Мичиган, Эри, Онтарио (общая площадь 245,1 тыс. км², максимальная глубина 406 м). Крупнейшее в мире скопление пресной воды находится в озере Байкал (около 23000 км³ чистой воды), это лишь немногим меньше, чем во всех пяти Великих озерах Северной Америки.

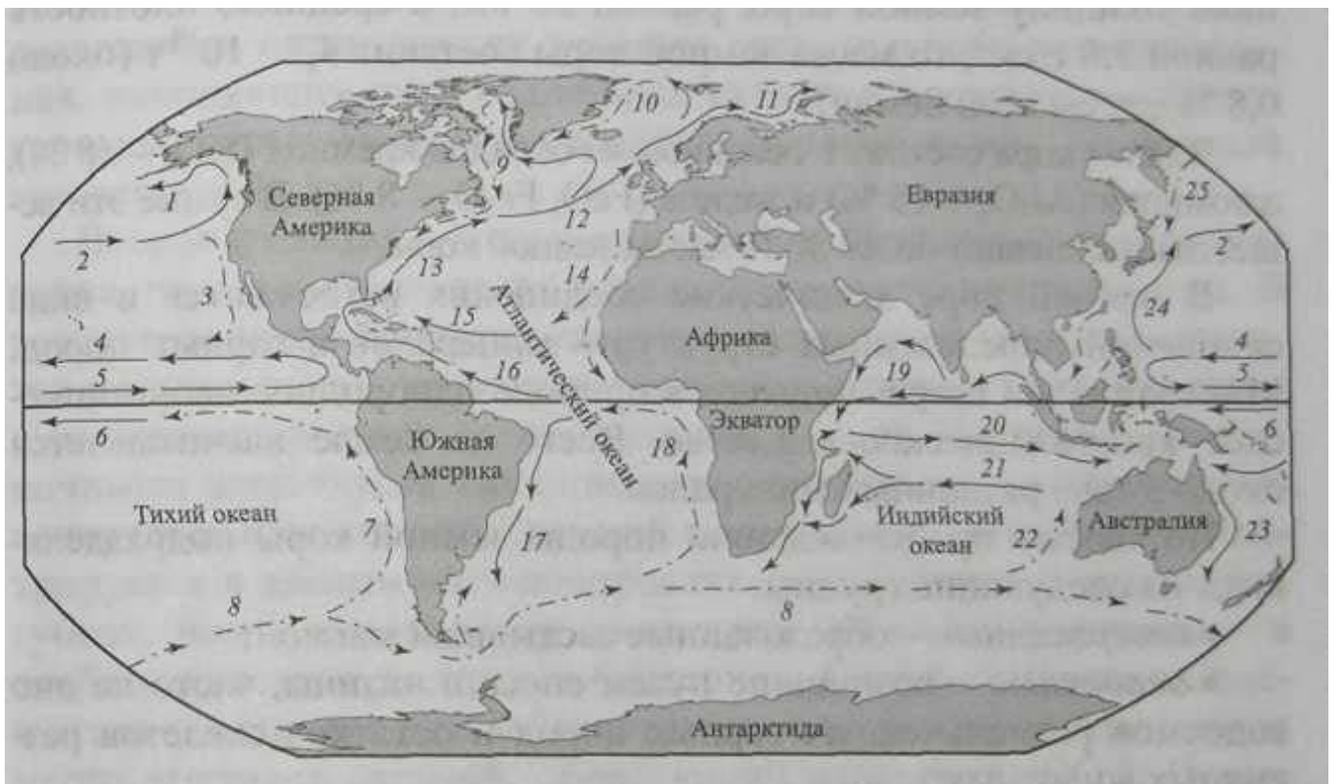


Рис. 3.1. Схема постоянных течений в Мировом океане

1 - Аляскинское течение; 2 - Северо-Тихоокеанское течение; 3 - Калифорнийское течение; 4 - Северное пассатное течение; 5 - Межпассатное противотечение; 6 - Южное пассатное течение; 7 - Перуанское течение; 8 - Течение западных ветров; 9 - Лабрадорское течение; 10 - Гренландское течение; 11 - Норвежское течение; 12 - Северо-Атлантическое течение; 13 - течение Гольфстрим; 14 - Канарское течение; 15 - Северное пассатное течение; 16 - Южное пассатное течение; 17 - Бразильское течение; 18 - Бенгельское течение; 19 - Муссонное течение; 20 - Межпассатное противотечение; 21 - Южное пассатное течение; 22 - Западно-Австралийское течение; 23 - Восточно-Австралийское течение; 24 - течение Куросио; 25 - Камчатско-Курильское течение

—→ — теплые течения;

- - - → — холодные течения.

Литосфера (земная кора) - это твердая земля - суша а также дно океанов. Литосфера имеет толщину 25...70 км под материками и 6...8 км под океанами. Глубже расположена мантия или магма (твердое вещество в пластическом состоянии). Если принять среднюю толщину земной коры равной 33 км, а среднюю

плотность равной $2,8 \text{ г/см}^3$, то масса земной коры составит $4,7 \cdot 10^{19}$ т (около 0,8 % массы всей Земли).

Земная кора состоит в основном из кремния (SiO_2 - 58%, алюминия (AlO_3 - 15 %) и железа (FeO , Fe_2O_3 - 8%). В сумме эти вещества составляют более 80 % массы земной коры.

В земной коре химические соединения встречаются в виде скоплений определенных структур - минералов и горных пород. Минерал - это встречающееся в природе однородное неорганическое кристаллическое вещество. Всего на Земле насчитывается около 3 тыс. различных минералов.

По своему происхождению породы земной коры подразделяются на следующие группы:

- *изверженные* - образованные застывшей магмой;
- *осадочные* - возникшие путем сноса в низины, часто на дно водоемов размельченных горных пород и остатков скелетов различных животных;
- *метаморфические* - сформированные из изверженных и осадочных пород в результате их сильного изменения и перекристаллизации под воздействием высокой температуры и давления в глубине земной коры, а также под воздействием флюидов (токов подземных горячих растворов и газов).

Теплопроводность горных пород земной коры исключительно мала, поэтому поток подземного тепла на поверхности Земли имеет мощность в две тысячи раз меньшую, чем солнечное излучение. Однако в глубь Земли температура быстро растет: в верхних слоях земной коры - в среднем на 3°C на каждые 100 м углубления. Значения температуры на глубине 100 км приближаются к $1100 \dots 1200^\circ\text{C}$. Источником энергии для разогрева недр Земли являются сила гравитационного сжатия, а также энергия распада радиоактивных элементов.

Роль живого вещества в биосфере. Эта роль чрезвычайно важна. Живое вещество - основа биосферы, хотя и составляет крайне незначительную ее часть. Это обусловлено высокой химической активностью. В.И. Вернадский в 1928 - 1930 гг. в своих работах, посвященных процессам миграции и трансформации химических веществ в биосфере, выделил пять основных биогеохимических функций живого вещества.

Первая функция - *газовая*. Качественный и количественный состав атмосферы Земли (концентрации кислорода, углекислого газа и других соединений) обусловлен жизнедеятельностью живого вещества. Подземные горючие газы являются продуктами разложения органических веществ растительного происхождения, накопившимися в осадочных толщах в предыдущие геологические эпохи. Наиболее распространенный из них – болотный газ метан (CH_4).

Вторая функция - *концентрационная*. Все живые организмы накапливают в своих телах различные химические элементы. В результате этого процесса удельное содержание многих элементов в живом веществе значительно превышает их концентрацию в окружающей среде (воде, воздухе, почве). Например, позвоночными животными накапливается фосфор, который сосредоточивается в их костях. Кремний в наибольшей степени концентрируется в диатомовых водорослях, радиоляриях и некоторых губках, йод - в водоросли ламинария, железо и марганец - в особых железомарганцевых бактериях. Среди химических элементов - металлов - по концентрации в живом веществе первое место занимает кальций, образующий известь (CaCO_3). Целые горные хребты сложены остатками животных с известковым скелетом. Но наиболее концентрируемым в живом веществе элементом является углерод. Содержание углерода в каменном угле (растительных и животных остатках прошлых геологических эпох) по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем в земной коре.

Третья функция - *окислительно-восстановительная*. В истории химических превращений элементов с переменной валентностью эта функция играет важную роль. Организмы, обитающие в разных водоемах, в процессе своей жизнедеятельности и после гибели регулируют кислородный режим и тем самым создают условия, благоприятные для растворения или же осаждения ряда металлов с переменной валентностью (ванадий, марганец, железо). Многие хемосинтезирующие бактерии в процессе жизнедеятельности изменяют валентности различных химических элементов (хром, сера, водород, железо, марганец и др.) в окружающей их среде обитания.

Четвертая функция - *биохимическая*. Она связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве. Размножение приводит к быст-

рому распространению живых организмов, «расползанию» живого вещества в разные географические области.

Пятая функция - это *биогеохимическая деятельность человечества*, охватывающая все возрастающее число элементов, используемых для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Данная функция занимает особое место в истории планеты Земля и заслуживает внимательного отношения и изучения. В обобщенном виде роль живого вещества в биосфере сформулирована В. И. Вернадским в виде концептуального экологического закона биогенной миграции атомов, который гласит:

«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 обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории».

Таким образом, благодаря активности живого вещества многие химические элементы находятся в постоянном биологическом круговороте, который связан с глобальным геологическим круговоротом веществ в биосфере.

Отдельные живые организмы не только сами приспосабливаются к окружающей физико-химической среде, но и в ходе своей совместной жизнедеятельности в биосфере приспосабливают окружающую геохимическую среду к своим биологическим потребностям. Таким образом, сообщества организмов, а также среда их обитания функционируют и развиваются как единое целое. Тот факт, что химический состав атмосферы Земли почти постоянен и резко отличается от состава атмосферы любой другой планеты Солнечной системы, способствовал созданию *гипотезы Геи*, согласно которой живое вещество биосферы, особенно микроорганизмы, вместе с геохимической средой обитания образуют сложную саморегулирующуюся систему, поддерживающую на Земле условия, благоприятные для существования жизни.

Так, аммиак, выделяемый почвенными микроорганизмами в ходе их жизнедеятельности, поддерживает в почвах уровень кислотности (рН), благоприятный для жизнедеятельности почвенных организмов. Без выделения аммиака почвен-

ными бактериями в ходе разложения мертвого органического вещества кислотность почвы была бы слишком низкой и неблагоприятной для жизни.

В табл. 3.1 приведены данные, позволяющие сравнить современный состав атмосферы Земли, Марса и Венеры с гипотетической атмосферой на безжизненной Земле. Из этой таблицы видно, что одной из особенностей современной атмосферы Земли является высокий уровень концентрации кислорода, который постоянно поступает в атмосферу в результате процесса фотосинтеза растений.

Вероятнее всего, что именно живые организмы, населяющие биосферу, играли основную роль в ходе регуляции геохимической среды, благоприятной для развития жизни в процессе исторического развития Земли. Следует иметь в виду, что в глобальном историческом масштабе процессы фотосинтеза органического вещества и его распада (окисление до углекислого газа и воды) при дыхании живых организмов на Земле не были сбалансированы.

Таблица 3.1

Состав атмосферы и температурных условий на Марсе, Венере, Земле и гипотетической Земле без жизни

Показатели	Марс	Венера	Земля до появления жизни (4 млрд. лет назад)	Земля
Содержание газов в атмосфере, %:				
двуокись углерода	95	98	98	0,03
азот	2,7	1,9	1,9	79
кислород	0,13	следы	следы	21
Температура поверхности, °С	-53	477	290	13

Источник: *Одум Ю.* Указ. соч. С. 37.

В течение 1 млрд. лет скорость образования (продукция) органического вещества на Земле превышала его распад, при этом небольшая часть созданного органического вещества не расходовалась на дыхание и не разлагалась, а сохранялась в геологических осадках. Полагают, что такое преобладание органического синтеза над дыханием и явилось основной причиной уменьшения содержания уг-

лекислого газа в атмосфере и накопления в ней кислорода, концентрация которого в настоящее время весьма высока. Все это сделало возможным существование и эволюцию высших форм жизни на Земле.

Контрольные вопросы и задания

1. Что входит в понятие биосферы согласно учению В.И. Вернадского?
2. Назовите основные части биосферы. Каковы их основные параметры?
3. Охарактеризуйте закон биогенной миграции атомов.
4. Определите роль живых организмов в регуляции современной геохимической среды в биосфере Земли.

4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

Условия окружающей среды определяют границы существования живых организмов в биосфере. Любой организм в среде своего обитания подвергается воздействию самых разнообразных факторов: химических, физических, биотических и пр.

Под экологическим фактором понимают любой элемент или свойство среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы.

В этом разделе рассмотрены общие закономерности действия экологических факторов на живые организмы.

Для разных видов растений и животных условия, в которых они могут существовать, неодинаковы. Например, некоторые предпочитают очень влажную почву, другие - относительно сухую. Приспособление организмов к среде называется *адаптацией*. Способность к адаптации - одно из основных свойств живых организмов, обеспечивающих самую возможность их существования, выживания и размножения. Адаптации проявляются на разных уровнях организации живой материи - от молекулярно-биохимического и клеточного до популяционно-видового и биоценотического. Все приспособления различных организмов к существованию в конкретных условиях среды обитания выработались в процессе эволюции. В результате для каждой биогеографической зоны сформировались специфические комплексы растений и животных.

Классификация экологических факторов:

абиотические (факторы неживой природы, или физико-химические факторы) - комплекс условий неорганической среды, влияющих на организм. К ним относятся химические, физические, климатические, атмосферные, почвенные (эдафические), геоморфологические, гидрологические, геофизические и другие параметры среды;

- *биотические* (факторы живой природы) - влияние одних организмов или их сообществ на другие;

- *антропогенные* - факторы, обусловленные человеческой деятельностью.

Среди них выделяют *антропогенные факторы прямого действия*, например, изъ-

ятие биомассы при добыче морепродуктов, охоте и вырубке лесов, изменение кормовых угодий, мелиорации, осушение и пр.) и *антропогенные* или факторы косвенного влияния, вызванные процессами урбанизации территории и загрязнением среды обитания отходами промышленного производства. Существует классификация экологических факторов по периодичности и направленности их действия, по степени адаптации к ним организмов:

факторы, действующие строго периодически (смена времени суток, сезонов года, приливо-отливные явления и пр.);

факторы, действующие без строгой периодичности, но повторяющиеся время от времени (погодные явления, наводнения, ураганы, землетрясения т. п.);

факторы направленного действия, которые обычно изменяются в одном направлении (потепление и похолодание климата, зарастание водоемов, заболачивание территорий и т. п.);

факторы неопределенного действия, например антропогенные факторы, действие которых изменяется в зависимости от их концентрации (химические) или интенсивности воздействия (физические). Из перечисленных факторов организмы легче всего адаптируются к действующим строго периодически или к факторам направленного действия. Наибольшие трудности для адаптации организмов представляют факторы неопределенного действия.

Общие закономерности действия факторов среды на организмы. Какими бы разными по природе ни были экологические факторы, результаты их воздействия сравнимы, поскольку они всегда выражаются в изменении интенсивности жизнедеятельности организмов, изменении скорости синтеза и распада органических веществ в организмах, что, в конечном счете, всегда приводит к изменению биомассы и численности организмов в популяции.

Каждый экологический фактор имеет количественное значение. При определенном диапазоне значений экологического фактора создаются условия, к которым конкретный организм наиболее приспособлен, т. е. активно растет, развивается и размножается. Эти условия называются *оптимальными*, а соответствующая им область на шкале значений фактора - *зоной оптимума*, или *зоной нормальной жизнедеятельности организма* (рис. 4.1). Чем больше отличаются значения экологического фактора от оптимального уровня, тем сильнее угнетается

жизнедеятельность. Диапазон значений фактора, за пределами которого нормальная жизнедеятельность организмов становится невозможной, называется пределами выносливости; при этом различают *нижний и верхний пределы выносливости*. Между зоной оптимума и пределами выносливости (устойчивости) находятся *зоны угнетения (пессимума)*, которые вызывают стрессовые состояния организма. При значении фактора, близком к пределам выносливости, организм может существовать лишь непродолжительное время. Диапазон значений факторов, находящихся за пределами выносливости, называется *летальными зонами*.



Таким образом, для каждого вида растений или животных существуют оптимум, стрессовые зоны, пределы устойчивости или выносливости и летальные зоны для каждого экологического фактора среды.

Зоны оптимума для различных видов неодинаковы. Организмы, выдерживающие большие вариации значений действующего фактора без существенных изменений процессов жизнедеятельности, относятся к группе *эврибионтов* (от греч. eury - широкий и греч. bion - элемент жизни), а организмы с узким пределом выносливости по отношению к этому же фактору называются *стенобионтами* (от греч. stenos узкий). Свойство организмов адаптироваться к тому или иному диапазону факторов среды называется *экологической пластичностью* или

экологической валентностью. Чем шире диапазон значений экологического фактора, в пределах которого данный организм может существовать, тем больше его экологическая пластичность.

Например, у пресноводных организмов нормальная жизнедеятельность сохраняется при сравнительно низкой солености воды, а для большинства обитателей моря - при высокой концентрации Солей в окружающей водной среде. Иначе говоря, морские организмы «узко специализированы» в отношении солености. В то же время отдельные виды морских организмов (трехиглая колюшка, личинки некоторых рыб, крабов, креветок, рачок Артемия) могут жить как в пресных, так и в соленых водах, т. е. являются эвригалинными организмами. Таким образом, подобным видам свойственна высокая экологическая пластичность по отношению к солености.

Эврибионтность и стенобионтность характеризуют различные типы приспособленности организмов к среде обитания. Виды, длительное время развивающиеся в относительно стабильных условиях, утрачивают экологическую пластичность и вырабатывают черты стенобионтности («узкой специализации»), что характерно для водных организмов. Виды, существующие в более изменчивой среде обитания (наземно-воздушная среда), приобретают повышенную экологическую пластичность и становятся эврибионтами (рис. 4.2).

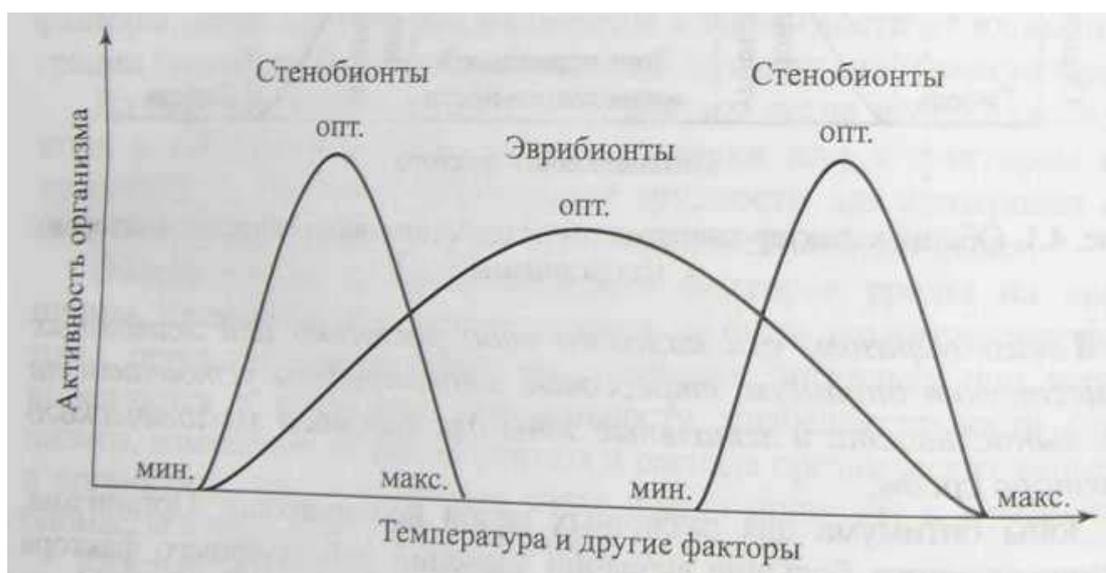


Рис. 4.2. Экологическая пластичность видов:

опт. - оптимальные значения фактора; мин., - минимальные значения фактора; макс. - максимальные значения фактора

Для того чтобы выразить отношение организмов к колебаниям определенного фактора, в экологии существует ряд терминов:

- стенотермный - эвритермный (в отношении температуры);
- стеногалинный - эвригалинный (в отношении солености);
- стенофагный - эврифагный (в отношении разнообразия питательных ресурсов) и пр.

По отношению ко всем экологическим факторам среды эврибионтность встречается редко. Чаще всего эври- и стенобионтность проявляется по отношению к одному фактору. Растение, являясь эвритермным (живущем в широком температурном диапазоне), может быть стеногигробионтом, т. е. менее стойким к колебаниям влажности. Эврибионтность, как правило, способствует более широкому географическому распространению определенных видов (многие простейшие, грибы, микроорганизмы).

Лимитирующие факторы среды. Любое условие (фактов) среды, приближающееся к пределу устойчивости (*толерантности*) или превышающее его, называется ограничивающим (*лимитирующим*) условием, или *лимитирующим фактором*. При стационарном (стабильном) состоянии экологических факторов лимитирующим будет тот из них, значение которого наиболее близко к необходимому минимуму. Эта концепция известна как «закон минимума» Либиха.

Идея о том, что выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей, впервые была высказана немецким агрохимиком Ю. Либихом в середине XIX в., когда он изучал влияние количественного содержания биогенных элементов почвы (азота, фосфора, кальция, калия и пр.) на рост сельскохозяйственных растений и сделал важный вывод о том, что «рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве».

В качестве наглядной иллюстрации так называемого закона минимума можно привести бочку с водой, у которой доски, образующие боковую поверхность, имеют разную высоту. Очевидно, что уровень воды в «бочке Либиха» определяется высотой самых коротких досок. Например, если в почве в достаточном количестве имеются все необходимые для нормального развития химические элементы, кроме одного, то рост и развитие растения будут определяться именно тем

из них, которого не хватает. Все другие элементы при этом не обеспечат оптимального развития растения.

Лимитирующим может быть не только недостаток, но и избыток фактора. Впервые предположение о лимитирующем влиянии максимального значения фактора наравне с минимальным было высказано в 1913 г. американским зоологом В. Шелфордом, сформулировавшим *Фундаментальный биологический закон толерантности*.

Любой живой организм имеет генетически определенный верхний и нижний пределы устойчивости (толерантности) к любому экологическому фактору.

Лимитирующие факторы обычно обуславливают границы распространения видов в биосфере, их ареалы. От них зависит продуктивность организмов и сообществ в целом. "закон минимума Либиха" и закон толерантности Шелфорда имеют общеэкологическое значение так как распространяются на все абиотические, биотические и антропогенные факторы среды, влияющие на организм. Такими факторами могут быть, в частности, и конкуренция со стороны другого вида, хищничество, паразитизм.

Взаимодействие факторов. Экологические факторы обычно действуют совместно, т. е. в комплексе. Все организмы существуют при одновременном воздействии на них множества различных факторов окружающей среды - (освещенности температуры, влажности, концентрации питательных веществ и пр.). Некоторые факторы не ограничивают развитие организмов, так как их значения находятся в области оптимума, другие факторы тормозят или ограничивают развитие, поскольку их значения находятся в области пессимума.

В общем виде взаимодействие различных факторов, влияющих на один и тот же организм или группу организмов, может сводиться либо к суммированию эффектов их влияния (*аддитивность*), либо к обоюдному усилению их воздействия (*синергизм*). Возможно также взаимное ослабление эффектов влияния факторов на организмы (*антагонизм*). Таким образом, одни факторы могут усиливать или смягчать действие других факторов. Например, избыток тепла может в какой-то степени смягчаться пониженной влажностью воздуха, недостаток света для фотосинтеза растений компенсироваться повышенным содержанием углекислого газа в воздухе и т. п.

Экологическая ниша. Для понимания различного типа межвидовых связей в экосистемах и обусловленности механизмов их функционирования важно ознакомиться с понятием «экологическая ниша» - одним из основополагающих в экологии. Каждый вид или его части (популяции) занимают определенное место в окружающей их среде. Например, определенный вид животного не может произвольно менять пищевой рацион или время питания, место размножения, убежища и т. д.

Экологическая ниша - совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе. Понятие "экологическая ниша" определяет общую сумму требований организма к условиям существования (его адаптации) и применяется обычно при исследовании взаимоотношений экологически близких видов, относящихся к одному трофическому уровню.

В отличие от понятия "местообитание" "экологическая ниша" - понятие более емкое, включающее в себя не только физическое пространство, занимаемое организмом, но и функциональную роль организма в биологическом сообществе (например, трофический статус), а также его толерантность по отношению к факторам среды - температуре, влажности, и составу почвы и т.д.

Названные три критерия определения экологической ниши удобно обозначать как *пространственную, трофическую и многомерную* ниши. Пространственная ниша, или ниша местообитания, может быть названа «адресом» организма. Трофическая ниша характеризует особенности питания и, следовательно, роль организма в сообществе, как бы его «профессию». Многомерная ниша - это диапазон всех условий, в которых живет и воспроизводит, себя особь или популяция. Таким образом, экологическая ниша определяется общей суммой адаптаций организма к среде, в которой он обитает. Причем это относится не только к отдельным организмам, но и к популяциям и видам в целом. Различие между окружающей средой и нишей организма состоит в том, что последняя отражает способность организма осваивать свою среду и подразумевает пути ее фактического использования.

Применяя теорию множеств, многомерную нишу можно рассматривать, как область в многомерном пространстве или гиперобъеме, измерениями которого служат различные экологические факторы. Этот гиперобъем охватывает диапазо-

ны толерантности организма по каждому фактору-измерению. Если строить график зависимости толерантности или приспособленности организма от какого-либо одного фактора, то обычно получается колоколообразная кривая (см. рис. 4.1). Для отображения подобной зависимости для двух или трех факторов одновременно сроят двух- и трехмерные графики, аналогичные изображенным на рис. 4.3. Добавление каждой новой переменной, характеризующей среду, дает еще одну ось и увеличивает число измерений графика на единицу. Концептуально этот процесс можно распространить на любое число осей, используя геометрию в n -мерном пространстве. Таким образом, экологическая ниша организма определяется как n -мерный гиперобъем, охватывающий полный диапазон условий, в которых организм может успешно воспроизвести себя.

Совокупность оптимальных для организма условий называют *фундаментальной* (потенциальной) нишей, которую организм мог бы занимать в отсутствие врагов и конкурентов. В условиях существования в сообществе каждый организм занимает более узкую нишу, которая называется *реализованной* (фактической) нишей.

Понятие экологической ниши оказывается наиболее полезным для количественных оценок различий между видами по одному или немногим основным параметрам, характеризующим устойчивость организмов к основным факторам среды. Для характеристики ниши чаще всего используются два измерения - ее ширина и величина пересечения ниши с соседними (перекрывание ниш). Ниша перекрывается тогда, когда два организма используют одни и те же ресурсы (рис.4.4). Очевидно, что в том диапазоне значений фактора (например, пищевого ресурса), где ниши конкурирующих видов перекрываются, между ними будет происходить конкурентная борьба, и чем больше перекрываются ниши, тем сильнее конкуренция.

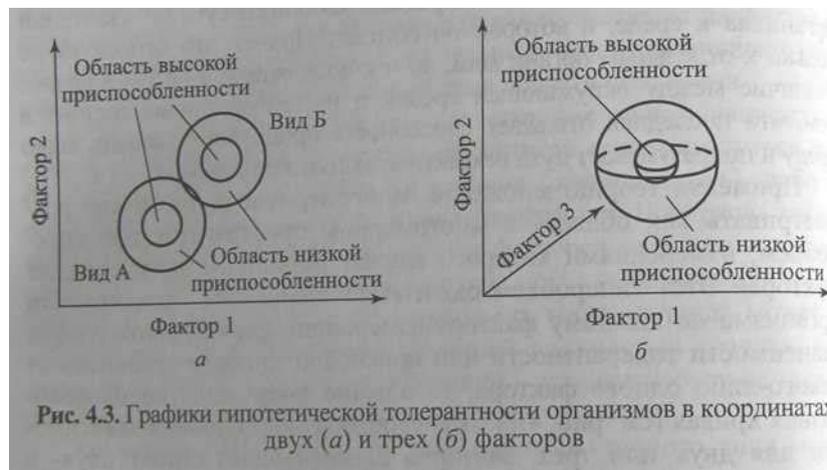


Рис. 4.3. Графики гипотетической толерантности организмов в координатах двух (а) и трех (б) факторов



Рис. 4.4. Схематическое представление перекрывающихся экологических ниш двух видов, использующих один и тот же ресурс

Контрольные вопросы и задания

- 1 Дайте определение экологического фактора.
- 2 Назовите основные типы экологических факторов.
- 3 Каковы общие закономерности действия любых факторов?
- 4 Чем определяется экологическая пластичность видов?
- 5 В каком случае факторы среды становятся лимитирующими? Что они лимитируют?
- 6 Могут ли разные факторы изменять действие друг друга?
- 7 Что представляет собой экологическая ниша?

5. АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

Основными (экологически важными) факторами среды для наземных экосистем являются свет, температура и влажность (осадки). В водной среде - это свет, температура, содержание кислорода и соленость. В любой среде большое значение имеют химическая природа и скорость биогеохимического оборота основных элементов питания. Все эти физико-химические условия существования могут быть не только лимитирующими, «вредными» факторами, но и регулирующими жизнедеятельность организмов, влияющими благотворно. Живые организмы не только приспосабливаются к физическим факторам среды обитания, т. е. переносят их воздействие, но и используют естественную периодичность изменений этих факторов для распределения своих функций во времени.

Свет. Это - один из важнейших абиотических факторов, так как служит первоисточником энергии в биосфере. Эволюция биосферы в целом была направлена главным образом на «укрощение» поступающего солнечного излучения (использование его полезных составляющих и ослабление вредных).

Почти вся энергия, получаемая поверхностью Земли, исходит от Солнца. Солнце излучает в космическое пространство громадное количество энергии. На верхней границе атмосферы Земли солнечная радиация составляет около 2 кал/см^2 в мин (так называемая *солнечная постоянная*). Проходя через облачный покров, воду и растительность, солнечный свет ослабляется, и в нем значительно изменяется распределение энергии по разным участкам спектра излучения. Энергия солнечного электромагнитного излучения варьирует в диапазоне длин волн от 60 до 4000 нм.

Среди солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли, на *видимый свет* (табл. 5.1) приходится приблизительно 50 % от всей солнечной энергии. Остальные 49 % составляют тепловые - *инфракрасные* и около 1% - *ультрафиолетовые* лучи.

Таблица 5.1.

Излучение	Длина волны (нм)
Ультрафиолетовое	60-390
Видимое	390-700
Инфракрасное (тепловое)	700-4000

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 300 нм, губительное для всех живых клеток, почти не проходит через озоновый слой, находящийся в верхних частях атмосферы на высоте около 25 км. Поэтому наличие озонового «экрана» - одно из важных условий существования жизни на Земле.

Излучение в оптической области (видимый свет) ослабляется в атмосфере равномерно, а инфракрасное излучение поглощается неодинаково, в зависимости от длины волны.

В среднем из той части солнечного излучения, которое доходит до верхних слоев атмосферы, около 42 % отражается атмосферой в космическое пространство, 15 % поглощается атмосферой и идет на ее нагревание (превращается в тепловую энергию) и только 43 % достигает поверхности Земли, поступая в распоряжение биосферы. Эта доля состоит из прямой солнечной радиации (27 %) и рассеянной (диффузной) радиации (16 %).

Для нормального существования водных и наземных экосистем важнее всего суммарное солнечное излучение, попадающее на автотрофный ярус экосистемы, т. е. солнечная энергия, получаемая зелеными растениями за недели, месяцы, весь год. Большая часть биосферы получает ежедневно около 3000...4000 ккал/м в сутки или 1,1... 1,5 млн ккал/м² в год. Часть потока солнечной энергии (в видимой части спектра) трансформируется в ходе *фотосинтеза* в энергию химических связей органического вещества и приводит в действие все биологические системы биосферы.

Судьба солнечной энергии, поступающей в биосферу, кратко рассмотрена в табл 5.2. Всего около 1 % энергии переходит в пищу и другую биомассу (процесс фотосинтеза). Однако большая часть энергии (69,2 %), которая преобразуется в тепло, расходуется на испарение, осадки, ветер и т. д., не теряется для биосферы зря, так как эта энергия поддерживает оптимальную температуру, и приводит в действие системы погоды и круговорота воды, необходимые для жизни на Земле.

Особое значение в жизни всех организмов имеет видимый свет. С участием света у растений и животных протекают следующие важнейшие процессы:

- *фотосинтез* - образование органического вещества за счет энергии света в клетках растений, микроскопических водорослей хлорофиллсодержащих бактерий;

- *транспирация* - испарение воды листьями растений, на что расходуется примерно 75 % падающей на растения солнечной радиации, что обеспечивает восходящий поток воды от корней к листьям;

- *фотопериодизм* - осуществление биологических ритмов (суточных, сезонных) как реакция организмов на длину дня (сигнальное или регулирующее значение света):

- *зрение у животных* - одна из главных сенсорных функций, позволяющая животным вести активный образ жизни;

- *синтез пигментов и витаминов* - витамин *D* у человека, витамины и фитопигменты у растений и т. д.

Таблица 5.2

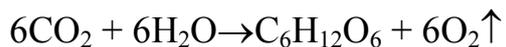
Рассеяние энергии солнечного излучения в биосфере

Процессы	Количество рассеянной энергии (в % от годового поступления в биосферу)
Отражение от поверхности почвы, воды, растений и превращение в тепло	76
Испарение, осадки	23
Ветер, волны, течения	0,2
Фотосинтез	0,8

Наиболее важный экологический процесс, зависящий от света – фотосинтез.

В клетках растений и хлорофиллсодержащих бактерий протекают сложные процессы синтеза органических веществ из простых неорганических соединений с использованием энергии солнечного света. Ведущую роль в этом процессе играют особые органические молекулы - фотосинтезирующие пигменты (хлорофиллы, каротиноды и др.), обладающие уникальным свойством - улавливать свет и превращать его в химическую энергию органических веществ. У большинства растительных организмов фотосинтезирующие пигменты сосредоточены в хлоропластах (внутриклеточных образованиях). Наиболее важный пигмент, без которого не возможен процесс фотосинтеза, - хлорофилл, придающий растениям зеленый цвет.

Процесс фотосинтеза обычно описывают следующим балансовым уравнением:



Балансовое уравнение фотосинтеза представляет собой суммарное отражение сложных биохимических процессов в клетках фотоавтотрофных организмов. В результате этих процессов из минеральных соединений (углекислый газ и вода) образуются богатое энергией органическое вещество и молекулярный кислород, выделяющийся в атмосферу.

Процесс фотосинтеза протекает в две стадии. На первой стадии - световой - происходит фотолиз воды (разложение молекулы воды под действием света до атомов водорода и молекул кислорода) и образуются универсальные переносчики энергии в клетках органические молекулы АТФ (аденозинтрифосфат). На второй стадии - темновой - проходит ряд последовательных реакций, которые не требуют наличия света. В результате этих реакций молекулы углекислого газа вовлекаются в цикл Кальвина и образуется органическое вещество клетки с использованием ранее накопленной энергии в молекулах АТФ.

Фотосинтезирующая деятельность зеленых растений обеспечивает все живое население планеты Земля органическим веществом и аккумулированной в нем солнечной энергией. Двуокись углерода, содержащаяся в атмосфере и в воде, - единственный источник неорганического углерода, из которого благодаря процессу фотосинтеза вырабатываются все органические вещества, составляющие живую клетку.

Фотосинтетические пигменты растений могут усваивать только часть солнечной радиации. Эта часть называется *фотосинтетически активной радиацией (ФАР)* и в основном соответствует спектральной полосе видимого света (диапазон длин волн от 400 до 700 нм), что составляет 50 % от суммарной энергии солнечного излучения. Хлорофилл и другие пигменты поглощают энергию, сосредоточенную в диапазоне длин волн 400...500 нм (синяя часть спектра) и 610.. .690 нм (красная часть спектра).

В реальных условиях только около 10 % энергии, получаемой растениями в видимой области спектра, действительно может трансформироваться в биомассу растений в процессе фотосинтеза. Эффективность преобразования энергии, улав-

ливаемой зелеными растениями на суше, составляет в среднем около 1 % от всего приходящего солнечного излучения. Фитопланктон (микроскопические водоросли), обитающий в верхней части гидросферы, запасает в виде органических веществ, синтезируемых в ходе фотосинтеза, еще меньше энергии - в среднем около 0,04 %.

Интенсивность фотосинтеза варьирует с изменением длины волны света. В наземных экосистемах спектральный состав солнечного света (распределение энергии по разным областям спектра) не настолько изменчив, чтобы это влияло на интенсивность фотосинтеза. В водных экосистемах при прохождении света через воду красная и синяя части спектра отфильтровываются, и получающийся зеленоватый свет слабо поглощается хлорофиллом. Поэтому в водоемах с увеличением глубины снижается энергия ФАР и количество фотосинтезирующих организмов значительно уменьшается. Нижней границей фотосинтеза в водных экосистемах обычно является глубина, на которую проникает около 1 % от всей падающей на поверхность воды солнечной радиации. При такой интенсивности света скорость фотосинтеза минимальна и равна скорости дыхания, т. е. на этой глубине находится компенсационная точка. Иными словами, сколько образуется органического вещества в ходе фотосинтеза, столько же и разрушается в процессе дыхания.

И у наземных, и у водных растений скорость фотосинтеза связана с интенсивностью света линейной зависимостью - увеличение интенсивности света ускоряет фотосинтез. Однако при высоких значениях интенсивности света, превосходящих определенный уровень светового насыщения, скорость фотосинтеза снижается. Таким образом, слишком интенсивная солнечная радиация, наоборот, подавляет фотосинтез. Уровень светового насыщения для разных видов растений может значительно различаться.

По отношению к свету различают следующие группы растений: *светлюбивые, тенелюбивые и теневыносливые*. К теневыносливым относятся многие деревья, начинающие свой рост под пологом леса, а затем выходящие в его верхние ярусы. Растения из каждой группы в процессе длительной эволюции приспособились к соответствующим световым условиям.

В жизни большинства растительных и животных организмов, обитающих в средних или высоких широтах, важную роль играет смена сезонов года. Со сме-

ной сезонов изменяются многие факторы среды: средняя температура, количество падающей солнечной радиации, количество осадков и пр. Однако наибольшее значение имеет длина светового дня. Изменение продолжительности светового дня многих организмом служит сигналом для изменения физиологической активности. Реагируя на изменение длины светового дня, организмы заранее подготавливаются к условиям наступающего сезона. Эти реакции на изменение длины светового дня называются *фотопериодизмом*. От длины дня зависят сроки цветения и другие процессы у растений. У многих пресноводных животных уменьшение длины светового дня осенью вызывает образование покоящихся яиц или цист, переживающих зиму. Для перелетных птиц сокращение продолжительности светового дня служит сигналом к началу миграции. У многих млекопитающих от длины дня зависит созревание половых желез и сезонность размножения.

Длина светового дня, или *фотопериод*, - надежный сигнал, по которому организмы умеренных зон упорядочивают во времени свою активность. Фотопериод рассматривается как некое «реле времени», т. е. пусковой механизм, включающий последовательность физиологических процессов, приводящих к росту и цветению многих растений, линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих и к наступлению диапаузы (стадии покоя) у насекомых.

Часто фотопериодическая реакция происходит только при определенном сочетании длины дня и какого-либо другого фактора окружающей среды. Например, при слишком низкой температуре растения не зацветают даже при оптимальной продолжительности светового периода. Лишь когда температура окружающей среды станет выше некоторого критического уровня, данный вид растений начнет реагировать на фотопериод.

Для большинства животных свет играет важную роль. Животные, ориентирующиеся с помощью зрения, приспособлены к определенной освещенности. Поэтому практически все животные имеют суточный ритм активности и заняты поисками пищи в определенное время суток. Многие насекомые и птицы, как и человек, способны запоминать положение Солнца и использовать его в качестве ориентира, позволяющего находить обратную дорогу. Для многих обитателей водной толщи (например, мелких ракообразных - зоопланктона) суточные изменения освещенности служат стимулом, вызывающим вертикальные миграции.

Обычно ночью организмы зоопланктона поднимаются в верхние слои водной толщи, где находится много микроводорослей (фитопланктон), служащих пищей для зоопланктона. С рассветом наблюдается миграция организмов зоопланктона вниз в область меньшей освещенности на глубины 150.. .200 м.

Температура и ее влияние на биологические процессы. Температура - один из важнейших абиотических факторов, влияющих на скорость многих физических и химических реакций в клетках живых организмов. С повышением температуры среды до определенного предела скорость химической реакции увеличивается, а при дальнейшем повышении температуры резко падает. Температура влияет на скорость различных физиологических процессов, от пищеварения до прохождения нервного импульса. Слишком низкие или слишком высокие температуры губительны для организмов. Значения температуры, при которых активно существуют живые организмы, колеблются в диапазоне $-1,5 \dots +100$ °С. Однако большая часть активных физиологических процессов реализуется в более узком диапазоне температур. Как правило, это значения температуры, при которых возможно нормальное функционирование белков ($0 \dots +50$ °С).

Организмы достаточно чувствительны к изменениям температуры. Диапазон колебаний температуры в воде обычно меньше, чем на суше, и диапазон толерантности к температуре у водных организмов обычно уже, чем у наземных организмов. Таким образом, температура служит важным лимитирующим фактором.

По отношению к температуре как экологическому фактору различают *теплолюбивые* и *холодолюбивые* организмы. Температура окружающей среды во многом определяет зональность (географическое распространение организмов) и стратификацию (вертикальное распределение организмов) в водных и наземных экосистемах.

Растения и животные в ходе длительного эволюционного развития приспособились к периодическим изменениям температурных условий, выработали в себе различную потребность к теплу в разные периоды жизни. Например, прорастание семян растений происходит при более низких температурах, чем последующий их рост.

Температурный оптимум зависит и от влияния других экологических факторов. Установлено, что при полном освещении и избытке углекислого газа в воз-

духе оптимальная температура фотосинтеза 30 °С, а при слабом освещении и недостатке углекислого газа она снижается до 10 °С.

Вода. В жизни всех организмов вода выступает как важнейший экологический фактор. Все живые организмы содержат воду (от 70 до 98 % от массы тела).

Живых организмов, не содержащих воду, на Земле не найдено, Она является основной частью протоплазмы клеток, тканей, растительных и животных соков. Все биохимические процессы в организме (синтез и распад органического вещества, газообмен) осуществляются при достаточном обеспечении водой. Вода с растворенными в ней веществами обуславливает осмотическое давление клеточных и тканевых жидкостей, обеспечивает межклеточный обмен. В период активной жизнедеятельности растений и животных содержание воды в их организмах, как правило, довольно высокое (приблизительно 80.. 90 % от массы тела). В состоянии покоя количество воды в организме может значительно снижаться, однако она не исчезает полностью. Например, в сухих мхах и лишайниках содержание воды в общей массе организмов составляет 5...7 %. Наземные организмы вынуждены постоянно пополнять запасы воды. Поэтому у них в процессе эволюции выработались приспособления, регулирующие водный обмен и обеспечивающие экономное расходование влаги. Эти приспособления могут выражаться в изменении структур (плотные внешние оболочки), модификации физиологических процессов (более экономное использование воды в организме).

Без воды на нашей планете не могло бы быть жизни. Вода важна для живых организмов вдвойне, так как она не только необходимый компонент живых клеток, но для многих организмов еще и среда обитания.

Из всех жидких и твердых веществ у воды *наибольшая теплоемкость*. Благодаря этому биохимические процессы в клетках живых организмов протекают в стабильных условиях, что обеспечивает их высокую эффективность. Кроме того, прогретшись в течение лета, моря и океаны медленно остывают зимой, отдавая тепло атмосфере. С этим связано значительное постоянство температурных условий водной среды обитания. Вода обладает наибольшим поверхностным натяжением из всех известных жидкостей, за исключением ртути, что имеет огромное значение для жизни растительного мира, так как поверхностное натяжение и

плотность воды определяют высоту, на которую она может подниматься в капиллярных системах проводящих тканей у растений.

Вода является *превосходным растворителем* для многих веществ. Когда вещество переходит в раствор, его молекулы и ионы получают возможность двигаться более свободно и, соответственно, его реакционная способность возрастает. По этой причине в клетке большая часть химических реакций протекает в водных растворах. Присущие воде свойства растворителя означают также, что вода служит средой для транспорта различных веществ (кровеносная система у животных, проводящие системы растений).

Большая теплота испарения воды, обусловленная водородными связями в молекулах воды, также играет очень важную роль в жизнедеятельности организмов. Испарение сопровождается охлаждением поверхности тела. Это используется при потоотделении (у животных), при транспирационном охлаждении листьев (у растений).

Первостепенное значение во всех проявлениях жизнедеятельности имеет водный обмен между организмами и внешней средой. Степень насыщения воздуха и почвы водяными парами (*влажность*) имеет большое значение для обитателей суши и нередко является фактором, лимитирующим распространение и численность организмов Земли. Например, степные и особенно лесные растения требуют повышенного содержания паров в воздухе, растения же пустынь приспособились к низкой влажности. Перечислим важные биологические функции воды. У всех организмов вода обеспечивает поддержание *структуры* (высокое содержание воды в протоплазме), служит *растворителем* и средой для диффузии, участвует в реакциях *гидролиза*, служит средой, в которой проходит *оплодотворение*. У растений вода обеспечивает поддержание структуры, а также *транспорт* неорганических ионов и органических молекул, *прорастание* семян (набухание разрыв семенной кожуры и дальнейшее развитие), участвует в фотосинтезе (на молекулярном уровне) и транспирации, т.е. испаряется с поверхности листьев, охлаждая их.

У животных вода обеспечивает *транспорт* веществ внутри организма, способствует охлаждению тела (потоотделение), служит одним из *компонентов*

смазки (например в суставах), обеспечивает опорные функции (гидростатический скелет), выполняет защитную функцию.

Атмосферные газы. На протяжении большей части биосферы состав атмосферы практически не изменяется, если не считать резких колебаний содержания водяных паров. Интересно, что концентрации двуокиси углерода (0,03 % по объему) и кислорода (21 % по объему) в современной атмосфере являются лимитирующими для многих высших растений. Общеизвестно, что в эксперименте у многих растений удается повысить интенсивность фотосинтеза, умеренно повысив концентрацию углекислого газа, однако менее известно, что снижение в эксперименте содержания кислорода также может приводить к увеличению фотосинтеза. Например, у бобов понижение до 5 % содержания кислорода в воздухе, окружающем листья, приводит к повышению интенсивности фотосинтеза на 50 %.

Уместно напомнить о роли кислорода и углекислого газа в жизнедеятельности самых разных организмов. Кислород необходим для дыхания животных и растений, а также для микробного разложения мертвого органического вещества. Образуется кислород в процессе фотосинтеза. При дыхании организмов и при микробном разложении (окислении) органического вещества выделяется углекислый газ, который используется для новообразования органического вещества при фотосинтезе.

В водных местообитаниях количество кислорода, двуокиси углерода и других атмосферных газов, растворенных в воде и потому доступных организмам, сильно изменяется во времени и в пространстве, чего в наземных местообитаниях не бывает. Кислород хорошо растворяется в воде, однако его содержание в воде (1% по объему) значительно ниже, чем в воздухе. Температура воды и количество растворенных в ней солей сильно влияют на способность воды удерживать кислород (растворимость кислорода повышается с понижением температуры и с понижением солености). Запас кислорода в воде пополняется из двух источников: путем диффузии из воздуха и благодаря фотосинтезу водных растений. Кислород диффундирует в воду очень медленно. Основным источником кислорода в воде - процесс фотосинтеза, который зависит от проникающего в водную толщу света. Таким образом, содержание кислорода в водной среде сильно меняется в зависимости от времени суток, времени года и географического положения, глубины.

Содержание углекислого газа в воде также может сильно изменяться. Углекислый газ поступает в воду из атмосферы, а также в результате дыхания водных организмов, разложения органических остатков и высвобождения из карбонатов. Углекислый газ растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода.

Биогенные элементы (макроэлементы) - химические элементы, постоянно **входящие** в состав организмов и необходимые для их жизнедеятельности. В живых клетках обычно обнаруживаются следы почти всех химических элементов, присутствующих в окружающей среде, однако для жизни необходимо около 20.

Важнейшие биогенные элементы (макроэлементы): кислород (составляет около 70 % биомассы организмов), углерод (18 %), водород (10 %), азот, кальций, калий, фосфор, магний, сера, хлор, натрий. Эти так называемые универсальные биогенные элементы присутствуют в клетках всех видов организмов.

Содержание тех или иных элементов в организме зависит не только от его особенностей, но и от состава среды, пищи (в частности, для растений - от концентрации и растворимости солей в почве), экологических особенностей организма и других факторов. *Микроэлементы* - химические элементы, содержащиеся в организмах в низких концентрациях (обычно тысячные доли процента и ниже), но играющие важную роль в отдельных процессах жизнедеятельности. Насчитывают свыше 30 микроэлементов -металлы (алюминий, железо, медь, цинк, марганец, никель и др.) и неметаллы (йод, селен, бром, фтор, бор и др.). В растения микроэлементы поступают из почвы и воды, в организмы животных и человека - с водой и пищей. В живых тканях накапливаются преимущественно микроэлементы, которые находятся в окружающей среде в форме подвижных легко усваиваемых водорастворимых соединений. Роль и функции микроэлементов разнообразны. Они входят в состав ферментов и пигментов, являясь их реакционными центрами, например, железо входит в состав гемоглобина крови, магний - в состав хлорофилла.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему свет, температура и влажность считаются основными абиотическими факторами среды для живых организмов?
2. Какие факторы среды часто являются лимитирующими в наземных экосистемах, а какие - в водной среде?
3. Укажите различия микро- и макроэлементов.

6. БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ. ФОРМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ В СООБЩЕСТВАХ

Все виды живых организмов, обитающих в природе, не могут существовать сами по себе без живого окружения - *биотической среды*, с которой они вступают в разнообразные взаимоотношения как с отрицательными, так и положительными для себя последствиями. Каждый биологический вид способен жить только в той биотической среде, где существующие связи с другими организмами обеспечивают ему нормальные условия жизни.

В отличие от абиотических факторов, охватывающих всевозможные взаимоотношения с неживой природой, *биотические факторы* — это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие.

Среди биотических обычно выделяют группы факторов, обусловленных влиянием:

животных организмов - *зоогенные факторы*;

растительных организмов - *фитогенные факторы*;

человека — *антропогенные факторы*.

Воздействие биотических факторов можно рассматривать как на отдельные организмы, биологические сообщества, так и на среду их обитания.

Первоначально экологические исследования воздействия биотических факторов на организмы носили, как правило, прикладной характер: велись в целях борьбы с вредителями, паразитами, для выявления источников пищи животных, для понимания роли хищничества. В настоящее время изучение влияния биотических факторов на организмы приняло широкие масштабы и проводится как в лабораторных, так и в природных условиях.

В современной классификации взаимодействия между различными организмами выделяют два типа реакции: *гомотипические* и *гетеротипические*.

Гомотипические реакции - взаимодействия между особями одного вида.

Жизнедеятельность всех видов животных и растений в большой степени зависит от численности популяции. В связи с этим большое экологическое значение имеют групповой и массовый эффекты, а также внутривидовая конкуренция.

Групповой эффект выражается в повышении жизнеспособности организмов при их объединении в группы. При совместном обитании особей одного вида животных облегчаются поиски пищи, борьба с врагами, уменьшается энергетический обмен, наблюдаются значительное повышение плодовитости, увеличение скорости развития, а нередко и изменение морфологических и физиологических особенностей. В настоящее время существование группового эффекта известно для многих видов насекомых и позвоночных. Важные проявления этого эффекта - значительное ускорение роста и высокая выживаемость особей.

Многие виды могут нормально размножаться и выживать только в том случае, если представлены достаточно крупными популяциями. Например, для выживания африканских слонов стадо должно состоять не менее чем из 25 особей, а стадо северного оленя должно насчитывать не менее 300-400 голов.

Массовый эффект вызывается негативными изменениями в среде обитания, происходящими при увеличении численности особей и плотности популяций выше критического уровня, и проявляется в снижении плодовитости, уменьшении скорости роста, сокращении продолжительности времени жизни животных. Так, при развитии популяции насекомых-вредителей в пищевых продуктах (например, крупе, муке и т. п.) накапливаются отходы их жизнедеятельности, что приводит к ухудшению среды их обитания. Это в свою очередь вызывает падение плодовитости и повышение смертности в популяции насекомых. Здесь следует упомянуть *принцип Олли*: для каждого вида существует оптимальный размер группы и оптимальная плотность популяции; как перенаселенность, так и недонаселенность оказывают неблагоприятное влияние.

Особи одного вида имеют одинаковые потребности в пище, убежищах и других ресурсах окружающей среды. Поэтому при достаточно высокой плотности популяции между организмами одного вида возникает борьба (конкуренция) за эти ресурсы необходимые для нормальной жизнедеятельности. *Внутривидовая конкуренция* проявляется, в частности, в защите охотничьей территории или места своего гнездовья. Так, в период размножения птиц самец охраняет определенную территорию, на которую кроме своей самки не допускает других особей своего вида. Такую же картину можно наблюдать и у многих рыб (например, у колюшки).

Наличие у животных социальной иерархии, при которой в популяции существуют доминирующие и подчиненные особи, является результатом внутривидовой конкурентной борьбы. Например, личинки майского жука трехлетнего возраста подавляют развитие личинок одно- и двухлетнего возраста. Поэтому вылет взрослых жуков наблюдается только раз в три года, тогда как у других насекомых, продолжительность личиночной стадии которых составляет три года, вылет взрослого насекомого происходит ежегодно из-за отсутствия конкуренции между личинками.

По мере увеличения плотности популяции конкуренция между особями одного вида из-за пищи становится все более острой и нередко является причиной переселения части популяции из одного географического района в другой. Например, различные зерноядные таежные птицы - кедровки, свиристели, совершают налеты в Западную Европу в те годы, когда не хватает пищи в районах их обычного распространения.

Гетеротипические реакции - взаимоотношения между особями разных видов, обитающих в одном биоценозе. Влияние, которое оказывают друг на друга два или более видов, живущих вместе, может быть нейтральным (нейтрализм), благоприятным (симбиоз, мутуализм) или неблагоприятным (хищничество, паразитизм, межвидовая конкуренция и др.).

Нейтрализм - взаимоотношения между видами, занимающими одну территорию, но почти не оказывающими влияние друг на друга. При нейтрализме особи не связаны друг с другом непосредственно и их сожительство на одной территории не влечет для них ни положительных, ни отрицательных последствий. Так, лоси и белки, обитающие в одном лесу, практически не контактируют друг с другом и не испытывают взаимного влияния.

Хищники - животные, питающиеся другими животными организмами.

Паразиты на всех стадиях своего развития существуют за счет органического вещества, получаемого от других организмов, и обитают или на поверхности (эктопаразиты) или на внутренних органах (эндопаразиты) других организмов, являющихся хозяевами. Большинство хищных животных в состоянии убить и сразу же съесть свою жертву, так как превосходят ее размерами и силой.

Паразиты же выбрали несколько другой путь: они понемногу получают от хозяина все необходимое и тем самым подрывают его здоровье, от которого зависит их собственное благополучие.

Межвидовая конкуренция - взаимодействие двух или нескольких видов организмов, стремящихся получить один и тот же ресурс.

Эта форма экологических отношений отрицательно сказывается на взаимодействующих партнерах, так как снижает скорость роста их популяций. Конкуренционные взаимоотношения, как правило, возникают между видами, использующими одинаковые экологические ресурсы (обитаемое пространство, пищевые объекты, биогенные элементы, свет, зависимость от хищников и т. д.). Межвидовая конкуренция может привести либо к установлению равновесия между двумя видами, либо, при более жесткой конкуренции, к замене популяции одного вида популяцией другого, либо к тому, что один вид вытеснит другой в иную экологическую нишу, т. е. заставит его перейти к использованию иной пищи. Различают две основные формы конкуренции - прямую и косвенную. *Прямая конкуренция* осуществляется путем прямого влияния особей друг на друга, например, при агрессивных столкновениях между животными или в случаях, когда одни животные своим поведением лишают других доступа к пище, укрытиям, к местам для размножения и т. д.

Косвенная конкуренция не предполагает непосредственного взаимодействия между особями. Она происходит опосредованно через потребление разными животными одного и того же ограниченного ресурса: чем больше один конкурирующий вид потребляет какой-либо ресурс, тем меньше возможности потреблять его у другого вида. Это одно из общих экологических правил, получившее название *закона конкурентного исключения*, было сформулировано Г.Ф. Гаузе* (*принцип Гаузе*). *Победителем в конкурентной борьбе оказывается тот вид, который в данной экологической обстановке имеет хотя бы небольшие преимущества перед другим видом, а следовательно, и большую приспособленность к условиям окружающей среды.*

* Гаузе Георгий Францевич (1910-1986) - советский биолог, эколог, микробиолог, академик АМН СССР; один из основоположников теоретической и экспериментальной экологии популяций, экспериментального изучения естественного отбора, учения об антибиотиках.

Межвидовая конкуренция является причиной того, что два вида, слабо различающихся спецификой питания, поведения, образа жизни и т. д. редко сожительствуют в одном и том же сообществе. Здесь конкуренция носит характер прямой вражды. Самая жестокая конкуренция с непредвиденными последствиями возникает, если человек вводит в сообщества виды животных или растений без учета исторически сложившихся взаимоотношений.

Симбиоз межвидовые взаимоотношения разных видов, благоприятные для их роста и выживания, причем в естественных условиях часто ни один из них не может существовать без другого. Этот тип взаимоотношений, предполагающий обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма, чаще встречается у организмов с очень разными потребностями, которые фактически взаимодополняют друг друга. Организмы со сходными потребностями чаще вступают в конкуренцию.

Классические примеры симбиоза - сожительство рака-отшельника и актинии, пресноводной гидры и морских кораллов с одноклеточными водорослями (зооксантеллами). В последнем случае одноклеточные водоросли живут в протоплазме клеток коралловых полипов и поставляют им кислород и синтезированные углеводы, а взамен получают вещества, необходимые для фотосинтеза, и надежное укрытие.

Форму симбиоза приобретают также взаимоотношения при питании тропических муравьев сахаристыми выделениями гусениц бабочки-голубянки. Муравьи защищают этих гусениц от хищников и паразитов, а гусеницы перед окукливанием зарываются в муравейник. Аналогичные отношения отмечаются у многих муравьев и тлей: муравьи защищают тлей от врагов, а сами питаются их выделениями.

Характерным примером очень тесного симбиоза - *мутуализма* - между автотрофными и гетеротрофными организмами является сожительство одноклеточных водорослей и грибов, образующих особый целостный организм - *лишайник*. Связи между партнерами-симбионтами довольно сложны, и некоторые авторы называют симбиоз хорошо урегулированным взаимным паразитизмом. Фотосинтезирующие водоросли в лишайнике снабжают гриб углеводами и другими органическими веществами (нуклеиновые кислоты, протеины, активаторы роста и пр.).

Грибы предоставляют клеткам водоросли механическую защиту, поставляют влагу и минеральные вещества.

Другой пример симбиоза - это сожительство высших растений с особой специализированной группой азотфиксирующих почвенных бактерий. Симбиоз с клубеньковыми бактериями-азотофиксаторами широко распространен среди бобовых (93 % изученных видов) и мимозовых (87 %). Так, бактерии из рода *Rhizobium*, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений, получают пищу (углеводы) и местообитание, а растения взамен от них - азотосодержащие органические соединения.

Часто встречается симбиоз грибов и высших растений. Поселяясь на корнях растений, грибы обеспечивают высшему растению колоссальную всасывающую способность. Поверхность соприкосновения клеток корня растения и мицелия (нитевидного тела) гриба в 10-14 раз больше, чем поверхность контакта с почвой клеток корня. Из изученных в нашей стране растений подобный симбиоз с грибами обнаружен у 79 %.

Пример наиболее совершенного симбиоза в животном мире - термиты, пищеварительный тракт которых служит приютом для жгутиковых или бактерий. Благодаря симбиозу термиты в состоянии переваривать целлюлозу древесины, а микроорганизмы получают убежище, вне которого они существовать неспособны. В специальном отделе желудка (рубце) всех копытных жвачных животных имеются симбиотические инфузории, которые помогают им переваривать растительную целлюлозу.

Следует отметить, что в комплексе положительных взаимоотношений между особями разных видов содержатся самые разнообразные переходы - от отношений более или менее индифферентных до таких отношений, когда оба участника сожительства обеспечивают взаимное существование. В этой категории биотических взаимоотношений можно также выделить:

- *протокооперацию - совместное существование, являющееся полезным, но не непременным условием выживания видов (популяций);*
- *сотрудничество - такое взаимоотношение видов, которое не является необходимым для выживания этих видов;*

• комменсализм, или нахлебничество, - взаимоотношения видов, при которых только один из партнеров получает выгоду, не нанося ущерб другому. (Таковы, например, взаимоотношения львов и гиен: последние подбирают остатки пищи, недоеденной львами.)

Основные типы биологических взаимодействий между двумя видами показаны на рис. 6.1, где символы +, - и 0 отражают положительную, отрицательную и нейтральную реакции каждого из взаимодействующих видов.

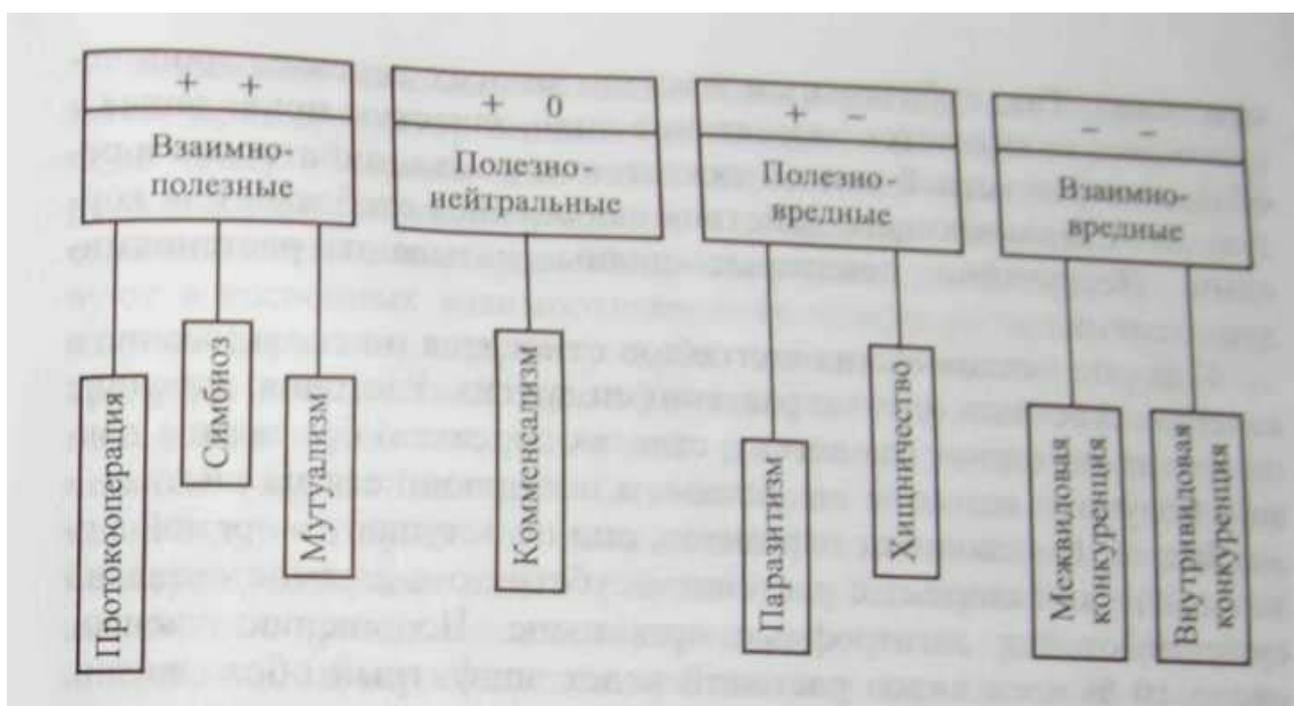


Рис. 6.1. Основные типы биологических взаимодействий:

0 - отсутствие значимых взаимодействий; + - улучшение роста, выживания и другие выгоды для популяции; - замедление роста и ухудшение других характеристик развития популяции

Фитогенные факторы - межвидовые взаимовлияния растений.

Растения в отличие от большинства животных ведут неподвижный образ жизни и не могут активно перемещаться в пространстве, изменять свое местоположение. Поэтому биотические взаимодействия среди растений имеют свои характерные особенности.

В отечественной литературе наиболее распространена классификация форм взаимоотношений между растениями, предложенная В.Н. Сукачевым:

прямые контактные (механические и физиологические) взаимоотношения;
косвенные взаимоотношения.

Примером *прямого механического взаимодействия* является повреждение ели и сосны в смешанных лесах от схлопывающего действия березы. Раскачиваясь от ветра, тонкие ветви березы ранят хвою ели, сбивают легкие молодые иглы. Это особенно заметно зимой, когда ветви березы голые (без листвы).

Взаимное давление и сцепление стволов также оказывает отрицательное воздействие на растения. Чаще всего такие контакты встречаются в подземной сфере, где большие массы корней тесно переплетаются в небольших объемах почвы. Типы таких контактов могут быть различны: от простого сцепления до прочного срастания. Так, губительным в жизни многих деревьев тропического леса оказывается разрастание лиан, зачастую приводящее к обламыванию ветвей под их тяжестью и усыханию стволов в результате сдавливающего действия вьющимися стеблями или корнями.

Неслучайно некоторые лианы называют растениями-душителями.

К форме механических контактов относится и использование в качестве субстрата одними растениями других. Растения, живущие на других растениях (на ветвях, стволах деревьев) без связи с почвой получили название *эпифитов*, а поселяющиеся на листьях - *эпифиллов*. В отличие от паразитов, они не вступают в прямой физиологический контакт с растением-субстратом, а самостоятельно существуют как автотрофные организмы. По мнению ученых, около 10 % всех видов растений ведет эпифитный образ жизни. Наиболее богаты эпифитами тропические леса.

Прямые физиологические контакты между растениями включают паразитизм, симбиоз, сапрофитизм, срастание корней. Наиболее ярким примером прямых физиологических взаимодействий между растениями является *паразитизм* - переход одного из партнеров на гетеротрофный способ питания и существование за счет организма-хозяина. Например, повилика, питающаяся соками клевера, подавляет развитие его вегетативной массы, заметно задерживая развитие растения. Как правило, урожай пораженного клевера невысокий. Через несколько лет на лугу, где появилась повилика, клевер полностью выпадает из травостоя. Паразиты многочисленны среди грибов и бактерий и значительно меньше распространены среди цветковых растений.

Срастание корней близко растущих деревьев (одного и того же вида или родственных видов) относится также к прямым физиологическим контактам между растениями. Явление это не столь уж редкое в природе. В густых насаждениях около 30 % елей срастаются корнями. Установлено, что между сросшимися деревьями существует обмен через корни в виде переноса питательных веществ и воды. В зависимости от степени различия или сходства потребностей сросшихся партнеров между ними не исключены отношения как конкурентного характера в виде перехвата веществ более развитым и сильным деревом, так и симбиотические.

Определенное значение имеет форма связей в *виде хищничества*. Хищничество широко распространено не только между животными, но и между растениями и животными. Так, ряд насекомоядных растений (росянка) относят к хищникам.

Косвенные взаимоотношения между растениями осуществляются через другие организмы (животные и бактерии) и через общую среду обитания. Животные играют важную экологическую роль в жизни растений, участвуя в процессах опыления и распространения семян и плодов. Микроорганизмы также нередко участвуют в косвенных взаимоотношениях между растениями. Корни многих деревьев, например, дуба, сильно изменяют почвенную среду (ее состав, кислотность) и тем самым создают благоприятные условия для поселения там различных микроорганизмов, в первую очередь бактерий. Эти бактерии питаются выделениями корней дуба и органическими остатками, создаваемыми грибами. Бактерии, живущие рядом с корнями дуба, служат своеобразной защитой от проникновения в корни патогенных грибов. Этот биологический барьер создается при помощи антибиотиков, выделяемых бактериями. Поселение бактерий в прикорневой области почвы сразу же сказывается положительно на физиологическом состоянии растений, особенно молодых дубков.

При совместном обитании растений наиболее часто встречается такой тип взаимоотношений, как *изменение растениями среды своего обитания*. В процессе жизнедеятельности растения в той или иной степени изменяют условия среды обитания, в том числе и для соседних растений, часто снижая их выживаемость. Самым ярким примером подобных взаимоотношений может служить изменение

световых условий: более быстро растущие растения создают затенение под своим пологом, и в этих условиях могут существовать только теневыносливые виды. Например, в еловом лесу, под пологом которого всегда сумрачно, почти не растут никакие другие растения, кроме молодых елей.

Другой путь взаимодействия растений в сообществах проходит через напочвенный слой мертвых растительных остатков, называемый на лугах и в степях ветошью, травянистым спадом, или степным войлоком, а в лесу - подстилкой. Этот слой (иногда толщиной до десятков сантиметров) вызывает затруднение для проникновения или прорастания семян и спор в почве. Возможны и взаимоотношения растений через содержащиеся в подстилке продукты распада растительных остатков, тормозящие, или напротив, стимулирующие рост растений.

Значительный путь взаимного влияния растений - это взаимодействие *через химические выделения*. Растения выделяют в окружающую среду (воздух, воду, почву) разнообразные химические вещества, которые оказывают на организмы либо токсичное, либо стимулирующее действие. Такие химические взаимовлияния получили название *аллелопатии*. В качестве примера *аллелопатии* можно назвать влияние корневых выделений пырея и костреца на растущие вблизи с ними другие травянистые растения и даже деревья. Многие грибы и бактерии синтезируют антибиотики, которые тормозят рост других бактерий.

У разных видов растений степень воздействия на среду обитания неодинакова. Растения, наиболее активно и глубоко преобразующие среду и определяющие условия существования для других видов, называют *эдификаторами*. Различают сильные и слабые эдификаторы. К сильным эдификаторам относят ель (сильное затенение, обеднение почв питательными веществами и др.), сфагновые мхи (задержание влаги и создание избыточного увлажнения, увеличение кислотности, особый температурный режим и т. д.). Слабыми эдификаторами являются лиственные породы с ажурной кроной (береза, ясень), растения травянистого покрова лесов.

В качестве особой формы взаимоотношений растений выделяют *конкуренцию*. Сильное влияние на жизнь растений оказывает конкуренция за почвенную влагу (особенно четко выражена в областях с недостаточным увлажнением) и конкуренция за питательные вещества почвы, более заметная на бедных почвах.

Межвидовая конкуренция проявляется у растений так же, как и внутривидовая (морфологические изменения, снижение плодовитости, численности и т. д.). Доминирующий вид постепенно вытесняет другой вид или сильно снижает его жизнеспособность.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определения биотической среды и биотических факторов.
2. В чем общность и различие гомотипических и гетеротипических факторов?
3. Назовите основные типы биотических взаимодействий (факторов).
4. Какое значение имеют биотические факторы для существования экосистемы?
5. В чем основное отличие фитогенных и зоогенных факторов?

7. АНТРОПОТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ

Антропогенные факторы - это прямые или косвенные воздействия человеческой деятельности на природную среду, вызывающие изменения природных экосистем и здоровья населения.

Выделяют антропогенные факторы *прямого действия*, связанные с непосредственным воздействием человека на окружающую природную среду при охоте, вырубке лесов, мелиорации и других видах деятельности, и *антропогенные*, или факторы косвенного влияния, действие которых проявляется в процессе урбанизации территорий, промышленного производства и загрязнения отходами окружающей среды.

На протяжении веков, в процессе своей деятельности человек существенно преобразовал естественные природные комплексы на значительных территориях, изменил условия жизни и способствовал расширению ареалов многих видов растений и животных.

С периода собирательства до эпохи научно-технического прогресса и до демографического взрыва негативное влияние антропогенных факторов на биосферу постоянно усиливалось. Можно привести следующие примеры негативных антропогенных воздействий на природные экосистемы:

- хищническое уничтожение целого ряда видов животных и растений (мамонтов и туров в Европе, бизонов в Северной Америке, птиц эпиорнис и моа на Мадагаскаре и в Новой Зеландии, стеллеровой коровы в Беринговом море и т. д.);
- загрязнение промышленными отходами производства и токсическими веществами окружающей среды - атмосферы, гидросферы и литосферы;
- нарушение круговоротов веществ в биосфере (в первую очередь, значительные изменения в глобальном биогеохимическом цикле углерода в биосфере);
- нарушение функционирования многих природных биоценозов (например, исчезновение Аральского моря как экосистемы);
- создание новых видов организмов (вирусов и бактерий, генетически модифицированных видов животных и растений).

Важным обстоятельством, сопутствующим загрязнению. природной среды антропогенными токсическими химическими веществами, является *эффект биоаккумуляции* - увеличения концентрации загрязнителей в живых организмах на каждом последующем уровне трофической цепи. Это явление связано со способностью организмов накапливать многие химические вещества в составе своей биомассы, которая служит пищей организмам более высокому трофического уровня. При этом происходит увеличение концентрации загрязнителей в биомассе этих организмов. При переходе загрязняющих веществ с низших звеньев трофической цепи (автотрофы) к высшим (консументы II и III порядков) коэффициенты накопления загрязняющих веществ в организмах возрастают в десятки и сотни раз. Например, содержание тяжелых металлов и хлорсодержащих токсических веществ в дождевых червях, обитающих в почве, и десятки и сотни раз превосходит их содержание в гумусе почв. Другим примером может быть возрастание в 100-1000 раз концентрации радиоактивных элементов в фитопланктоне по сравнению с содержанием их в воде водоемов. При дальнейшей передаче радиоактивных элементов по трофическим сетям к рыбам коэффициенты накопления радионуклидов могут достигать значений 10^4 - 10^5 .

Все живые организмы, населяющие биосферу, обладают весьма широким спектром защитных механизмов, позволяющих ослабить неблагоприятное воздействие факторов окружающей среды. Однако эти адаптационные механизмы не способны противодействовать новым негативным факторам, быстро возникающим в результате промышленной деятельности, что отрицательно сказывается как на функционировании природных экосистем, так и на здоровье населения.

С экологической точки зрения болезнь рассматривают как недостаточную адаптацию организма к среде обитания при неблагоприятном внешнем воздействии. На здоровье населения большое влияние оказывает целый комплекс факторов: экологические, социально-экономические, антропогенные, гелиофизические, космические и метеорологические, санитарно-эпидемиологическая ситуация и т.д. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в благополучных в экологическом отношении странах Европы состояние здоровья людей на 50% определяется образом жизни, на 20...25% - наследственными генетическими факторами и на 20...30% - состоянием окружающей среды.

На разных уровнях структурной организации живой материи негативные последствия воздействия антропогенных факторов имеют различные проявления:

- на *молекулярном уровне* происходят хромосомные и генные повреждения (мутации, абберрации), которые, как правило, приводят к изменению функционирования ферментативных систем и нарушению синтеза отдельных биохимических соединений в организме человека;
- на *клеточном уровне* снижается иммунитет и возникает канцерогенез;
- на *организменном уровне* возникают различного рода патологические состояния (болезни) и тератогенные эффекты (уродства);
- на *популяционном уровне* возрастает общая и специфическая заболеваемость организмов и нарушаются демографические показатели, т. е. нарушается сложившийся баланс между уровнем рождаемости и смертности;
- на *экосистемном уровне* наблюдаются нарушения функционирования различных исторически сложившихся (климаксных) экосистем под действием антропогенных факторов. (Эти нарушения выражаются в снижении видового разнообразия, разбалансированности биогеохимических циклов химических элементов. В конечном счете, они могут привести к деградации экосистем.)

С практической точки зрения все экологически опасные антропогенные факторы целесообразно разделить на *физические, химические и биологические*.

Физические экологически опасные факторы включают: электромагнитные поля и излучения, радиацию и радиоактивное загрязнение, шумовое загрязнение, световые факторы, вибрацию, тепловые факторы.

Электромагнитные поля и излучения. Энергию электромагнитного поля переносят электромагнитные волны. Электромагнитный спектр включает в себя как ионизирующее излучение (космическое, гамма- и рентгеновские лучи), так и неионизирующее излучение (ультрафиолетовые лучи) видимый свет, инфракрасные лучи, микроволны, радиоволны) (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Шкала электромагнитных волн

Виды излучения	Длина волны, (λ , нм)
Ионизирующее излучение	
космические лучи	$10^{-7} \dots 10^{-3}$

гамма-лучи	$10^{-4} \dots 10^{-1}$
рентгеновские лучи	$10^{-3} \dots 10^0$
Неионизирующее излучение	
ультрафиолетовые лучи (УФ)	100...400
В том числе: УФ-С	100...280
УФ-Б	280...320
УФ-А	320...400
видимый свет	400... 760
инфракрасные лучи	760... 10^5
микроволны	10^5 — 10^8
радиоволны	$10^9 \dots 10^{13}$

Источник: *Худолей В.В., Мизгирев И.В.* Экологически опасные факторы.

Уфа, 1996. С. 57.

Световые факторы. Определенная часть электромагнитного спектра, относящаяся к оптической области, не ионизирующей радиации, является светом. Световой режим играет важную роль в жизни практически всех организмов (см. разд. 5). Световое загрязнение представляет собой вид физического воздействия на окружающую среду, обусловленного периодическим или продолжительным превышением уровня естественного светового фона.

Наибольшее негативное воздействие на здоровье населения и природные экосистемы оказывает ультрафиолетовая часть спектра светового излучения (УФ-радиация) с длиной волны 100...400 нм (см. табл. 7.1). Источниками УФ-радиации помимо природного фона солнечного излучения могут быть УФ-генерирующие галогеновые, ртутные, ксеноновые, водородные и флуоресцентные лампы дневного и солнечного света, лазеры и специальные медицинские аппараты

Кратковременное воздействие УФ-Б-радиации приводит к подавлению иммунитета (способности противостоять возбудителям инфекционных заболеваний) в месте облучения, а продолжительные воздействия - к общему угнетению иммунитета, воспалению роговицы и век, к развитию катаракты, меланом и рака кожи. Обычно часть солнечного излучения с длинной волны менее 320 нм задерживается озоновым слоем в стратосфере на высотах 25...45 км Однако в последние десятилетия антропогенный выброс в атмосферу фторуглеродов вызвал истощение «озонового экрана» образование в нем дыр и увеличение интенсивности потока жесткого ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности Земли Такие явления в последние годы были отмечены в приполярных районах и в отдельных

зонах в разных странах. Результаты специальных исследований свидетельствуют о том, что истощение озонового слоя в стратосфере всего лишь на 1 % может вызвать увеличение количества отдельных заболеваний у населения (в частности, раком кожи на 2.. 3 %, а катарактой - на 0,6.. 0,8 %).

Следует иметь в виду, что одноклеточные водоросли и микроорганизмы в большей степени, чем человек и крупные животные, подвержены опасности повреждения под действием ультрафиолета (УФ-Б и УФ-С). Так, известно, что УФ-радиация, проникающая в водную толщу океанов на несколько метров, может уменьшить фотосинтетическую активность морских автотрофных организмов (фитопланктона), являющихся основой большинства пищевых цепей в океане. Избыточное облучение УФ-радиацией высших растений также негативно сказывается на их жизнедеятельности: приводит к уменьшению площади поверхности листьев, высоты растений, интенсивности фотосинтеза, снижению урожайности.

Влияние электромагнитных полей (ЭМП) и излучений на живые организмы. Частотный электромагнитный спектр $1 \cdot 10^5 \dots 3 \cdot 10^{11}$ Гц подразделяется на отдельные диапазоны: радиочастоты (100 кГц...300 МГц), ультравысокие частоты (ультракороткие волны 30...300 МГц) и сверхвысокие частоты (микроволны) (300 МГц...300 ГГц) (см. табл. 7.1).

Электромагнитная обстановка окружающей среды в современных условиях является важным фактором экологии человека и в ряду потенциально опасных антропогенных воздействий занимает одно из первых мест. Несмотря на то, что антропогенные электромагнитные поля и излучения - относительно недавно возникший экологический фактор (100 лет), сегодня электромагнитное облучение населения в десятки тысяч раз превышает естественный фон и представляет большую опасность для здоровья населения, особенно в условиях городов-мегаполисов.

Количество разнообразных источников электромагнитного загрязнения в последнее десятилетие значительно увеличилось. Это высоковольтные линии электропередачи, радио- и телевизионные передающие центры, ретрансляторы и телефоны сотовой мобильной связи радары, бытовая техника, видеотерминалы, некоторые виды медицинского оборудования.

Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследо-

вателей свидетельствуют о высокой биологической активности ЭМП во всех частотных диапазонах. На биологическую реакцию экосистемы, включая и человека, влияют следующие параметры ЭМП: интенсивность и частота излучения; продолжительность облучения; модуляция сигнала; сочетание частот ЭМП, периодичность действия. Сочетание вышеперечисленных параметров может иметь существенно различающиеся последствия для реакции облучаемого биологического объекта.

Основная доля мощности антропогенного электромагнитного излучения приходится пока на ЭМП относительно низких уровней и на сравнительно низкие частоты. Гораздо более опасным является высокочастотное излучение сантиметрового диапазона, используемое в сотовых мобильных и радиотелефонах и СВЧ-печах.

Механизмы воздействия ЭМП на клетки и ткани живых организмов чрезвычайно сложны и до конца не изучены. Однако в настоящее время уже установлено, что в результате влияния электромагнитных полей в биологических тканях происходит ядерно-магнитный резонанс, который может приводить к изменению структуры клеточных мембран. Кроме того, активность некоторых важных биологических ферментов в организме человека в зависимости от напряженности электромагнитного поля может увеличиваться, а ряда других - снижаться.

Под действием электромагнитного излучения в тканях организма происходят сложнейшие физико-биологические процессы, которые могут явиться причиной нарушения нормального функционирования отдельных органов и организма в целом, появления нарушений вегетативной и центральной нервной системы, ослабления иммунитета, нарушения поведенческих реакций, нейроэндокринных изменений.

Многочисленные исследования в области биологического действия ЭМП позволили определить наиболее чувствительные: (критические) системы организма человека: *нервная, иммунная, эндокринная и половая*. Особую опасность представляет тот факт, что биологический эффект ЭМП в условиях длительного многолетнего воздействия на организм человека накапливается. В результате возможно развитие отдаленных последствий, включая дегенеративные процессы центральной нервной системы, рак крови (лейкозы), опухоли мозга, гормональ-

ные заболевания. Особенно опасны ЭМП могут быть для детей, беременных, людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой системы, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом.

На растительных и животных тест-системах под действием антропогенных ЭМП неоднократно наблюдались тератогенные эффекты (образование уродливых форм организмов) и было установлено, что высокие уровни интенсивности микроволнового и радиочастотного воздействия могут вызывать наследуемые изменения в организмах (мутации).

Отрицательное воздействие ЭМП на человека и компоненты экосистем прямо пропорционально мощности поля и времени облучения. Установлено, что на значительных территориях вблизи радио- и телецентров, радиолокационных установок, воздушных линий электропередач напряженность электрического и магнитного полей в тысячи раз превышает естественные уровни и создает реальную опасность для находящихся в зоне действия полей людей, животных и растений. Неблагоприятное воздействие ЭМП, создаваемого ЛЭП, проявляется уже при напряжении 1000 В/м. При этом у человека нарушаются нормальное функционирование эндокринной системы, обменные процессы, работа головного мозга. В настоящее время установлено негативное влияние ЭМП на структуру почвы, в результате которого значительные площади в местах расположения ЛЭП становятся непригодными для сельского хозяйства.

Радиация и радиоактивное загрязнение. Жизнь на Земле возникла и развивалась в присутствии радиации. Радиация - один из самых древних природных факторов. Уровни естественного радиационного фона на планете изменяются в довольно широких пределах, в среднем составляя для человека $2,4 \cdot 10^{-3}$ Зв* в год. Все живые организмы не только приспособлены к воздействию радиационного фона, но и в значительной степени им сформированы. В результате наблюдений за населением отдельных регионов Земли с уровнем естественного радиационного фона, во много раз превышающим средние значения (до $250 \cdot 10^{-3}$ Зв* на территории Бразилии), не были обнаружены какие-либо неблагоприятные влияния на здоровье живущих там людей.

* Зиверт-единица измерения эквивалентной дозы ионизирующего излучения в системе СИ.

Естественный радиационный фон складывается в основном из космического облучения (примерно 17 % от суммарной дозы облучения за счет естественного радиационного фона) и земной радиации (более 60 %), обусловленной содержанием радиоактивных изотопов в породах и почвах.

За последние несколько десятилетий в жизни человека в дополнение к природным вошли искусственные (или техногенные) источники радиации, связанные с возрастающим использованием ядерных технологий в медицине, промышленности и энергетике..

Индивидуальные дозы, получаемые разными людьми от техногенных источников, сильно различаются, хотя и в большинстве случаев сравнительно невелики.

Так средние уровни облучения, обусловленные медицинским диагностическим использованием источников излучения, в развитых странах приблизительно эквивалентны 50 % глобального среднего уровня естественного радиационного фона.

В течение последних 50 лет каждый человек подвергался облучению от радиоактивных осадков, образовавшихся в результате многочисленных (543) испытаний ядерного оружия в атмосфере (прекращены в 1 1980 г.). Дополнительным фактором, повлекшим за собой выпадение радиоактивных веществ, стала авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Влияние испытаний ядерного оружия после 1980 г. оценивается специалистами примерно на уровне $0,005 \cdot 10^{-3}$ Зв/год, что на три порядка ниже, чем уровень естественного радиационного фона.

Предприятия ядерной промышленности и энергетики размещены на территории высокоразвитых стран и создают еще один источник техногенного облучения. Радиоактивные выбросы атомных станций и предприятий ядерной промышленности регулируются очень жесткими нормативами, и поэтому практически не изменяют природный фон ($0,0002 \cdot 10^{-3}$ Зв/год) и содержание радионуклидов в окружающей среде.

Необходимо отметить, что радиационное воздействие значительно повышается в аварийных ситуациях. Так, в результате аварии на Чернобыльской АЭС общая площадь радиоактивного загрязнения земель лесного фонда на территории России до сих пор составляет более 1,4 млн.га.

Воздействие повышенных уровней ионизирующей радиации на экосистемы и организмы, в них обитающие в настоящее время изучено еще недостаточно. Исключение составляют лесные экосистемы, в которых наиболее чувствительны к воздействию радиации хвойные деревья. Это связано с тем, что вечнозеленая крона деревьев этих пород задерживает значительную часть выпадающих радионуклидов, что приводит к повреждению жизненно важных и репродуктивных органов растений и даже к их гибели.

В то же время специфика радиационных поражений населения изучена значительно более детально. В высоких дозах радиоактивное излучение проникает в ткани и приводит к нарушению внутренних процессов. При воздействии высоких доз радиации возникает опасность повреждения наследственного аппарата клетки, развития лейкозов и злокачественных опухолей. Облучение половых клеток приводит к врожденным дефектам у потомства. Воздействие радиоактивного излучения на эмбрионы вызывает эмбриотические эффекты (уродства или пороки развития).

В зависимости от характеристики излучаемой энергии различают α -, β -, γ -излучения.

α -излучения, хотя имеет слабую проникающую способность и может быть задержано даже листом бумаги, чрезвычайно опасно при попадании внутрь организма с пищей, водой, воздухом или в открытую рану.

β -излучение обладает большей проникающей способностью: оно повреждает ткани организма на глубину 1...2 см и более в зависимости от величины энергии.

γ -излучение распространяется со скоростью света и обладает высокой степенью проникновения (его может задержать только толстый свинцовый экран).

Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передает тканям. Количество такой энергии называется *дозой*.

В зависимости от вида излучения (α -, β -, γ -) при определении дозы радиации вводят поправочные коэффициенты, отражающие способность излучения данного вида повреждать ткани организма. Пересчитанную таким образом дозу называют *эквивалентной дозой* и в системе СИ измеряют в зивертах.

Количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела, называется *поглощенной дозой* и в системе СИ в грэях*. Следует учитывать, что одни части тела (*органы, ткани*) более чувствительны к ионизирующему излучению, чем другие.

Воздействие радиации происходит на многих уровнях биологической организации - от молекул и клеток до сложной системы органов и тканей и организма в целом. Анализ большого числа радиобиологических данных позволяет обнаружить некоторые изменения структуры клеточных ядер при $(2...5) \cdot 10^{-2}$ Гр.

Частота этих изменений нарастает с увеличением дозы от 10 до $50 \cdot 10^{-2}$ Гр и (по наиболее принятой консервативной гипотезе) линейно зависит от нее. При величине дозы $(10...200) \cdot 10^{-2}$ Гр на молекулярном и клеточном уровне могут быть выявлены отклонения от нормального строения (абerrации) хромосом, часть которых может наследоваться и передаваться следующим поколениям. При дозе 1 Гр естественная частота мутаций и наследственных болезней, также регистрируются случаи легкой степени лучевой болезни. При дозах порядка 4,5 Гр наблюдаются случаи тяжелых форм лучевой болезни.

В настоящее время допустимой дозой облучения населения за год считается $1 \cdot 10^{-3}$ Зв, на два и более порядков ниже доз, при которых наблюдаются случаи проявления негативных эффектов на здоровье человека.

Еще один важный источник радиоактивного облучения - радон, продукт распада повсеместно распространенного радия, заметные количества которого обнаруживаются в различных помещениях, особенно на нижних этажах жилых зданий. Источником радона служат кирпич и бетон, но главным образом - земля под строением. Радон проникает в строение вместе с воздухом, втягивающимся из почвы через микротрещины вследствие различий давления и температуры внутри и вне здания («эффект дымохода»). Поскольку население развитых стран примерно 80 % времени проводит внутри жилых и производственных помещений, где содержание радона повышено, некоторые строения оказываются непригодными для использования, так как живущие в «неблагоприятных домах» имеют в 10 раз большую вероятность заболевания раком. Причиной возникновения раковых за-

* Грэй – единица измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения в системе СИ.

болеваний в таких помещениях принято считать *кумулятивные эффекты облучения*, вызванные радоном. В то же время облучение радоном в малых дозах успешно применяется в медицине (радоновые ванны) для излечения многих хронических заболеваний.

Шумовое загрязнение. Шум представляет собой комплекс звуков, вызывающих неприятные ощущения.

Различают низкочастотные, или инфразвуковые (1...16 Гц), средние (16...20000 Гц) и высокие, или ультразвуковые, колебания свыше 20000 Гц).

Область слышимых звуков, воспринимаемых человеческим ухом и лежащих между порогами слышимости и болевых ощущений, равна 130 дБ. Громкость звука определяется амплитудой колебаний, а высота - их частотой. Шум, или звуковое загрязнение, воспринимаемое человеческим ухом в качестве помех, принято подразделять на *низкочастотный* (ниже 350 Гц), *среднечастотный* (в диапазоне от 350 до 800 Гц) и *высокочастотный* отсутствие вызывает гнетущее ощущение у человека. Однако в наши дни шумовое загрязнение стало одной из самых серьезных проблем окружающей среды. Основные источники антропогенных шумов - автомобильный, воздушный, рельсовый транспорт, промышленные предприятия. Наибольший шум отмечен на улицах крупных городов, причем уровень уличных шумов определяется интенсивностью, скоростью и характером транспортного потока.

Реакция на шум со стороны нервной системы, по данным ВОЗ, начинается уже с уровня 40 дБ, а при 70 дБ наблюдаются глубокие расстройства вплоть до психического заболевания, изменения показателей зрения, слуха, крови. У людей, проживающих вблизи автомагистралей и автотрасс, под шумовым воздействием отмечаются изменения состояния звукового анализатора, нервной и сердечно-сосудистой систем, установлена повышенная заболеваемость. Продолжительный шум приводит к снижению работоспособности человека и повышению стрессового состояния.

Небольшие шумовые воздействия (около 35 дБ) могут вызвать нарушения сна. Раздражающее действие на вегетативную нервную систему наблюдается при уровне шума 55...75 дБ. Шум более 90 дБ вызывает постепенное ослабление слуха, сильное угнетение или, наоборот, возбуждение нервной системы. Кратковре-

менное действие шума силой более 120...130 дБ может привести к повреждению органов слуха.

По данным австрийских исследователей, избыточный шум приводит к сокращению продолжительности жизни на 8-12 лет. Наиболее чувствительны к влиянию шума люди старшего возраста. В районах крупных аэропортов в радиусе до 15 км наблюдаются статистически достоверное увеличение числа мертворождений и заметное ухудшение здоровья населения.

Инфразвуком называются звуковые колебания с частотой ниже 16 Гц. В естественных природных условиях возникновение инфразвука - явление относительно редкое. Инфразвук наблюдается при извержениях вулканов, сильных штормах, землетрясениях. Звук такой низкой частоты вызывает резонанс во внутренних органах человека. При этом происходит трансформация механической энергии звуковых колебаний в тепловую, что приводит к резкому изменению биохимических и биоэлектрических процессов, к различным болевым и неприятным ощущениям. Существует предположение, что именно инфразвуковые колебания, наблюдаемые в некоторых зонах (например, в области "Бермудского треугольника") являются причиной исчезновения кораблей, самолетов, людей.

Ультразвук - это звуковые волны с частотами выше 20 кГц. Акустическая энергия может трансформироваться в другие виды энергии и вызывать различные химические и биоэлектрические процессы путем термальных реакций, стресса или включения так называемого кавитационного механизма. (Кавитация - образование полостей в жидкости с последующим резким разрушением этих полостей сопровождающимся гидравлическими ударами).

Источниками ультразвука служат многие измерительные приборы (для измерений плотности, эластичности, температуры, размеров мелких объектов утечки газа и т. п.), промышленные установки (для процессов сушки, чистки, стерилизации, эмульгирования, экстракции, полировки и т. п.), а также приборы медицинской диагностики и терапии. Ультразвук нарушает процессы синтеза белка и нуклеиновых кислот, повреждает клеточные мембраны. Ультразвуковые волны разрушают бактерии, вирусы и фаги, оказывают дезинтегрирующее действие на растительные и животные клетки, многоклеточные организмы. В экспериментах с животными (мыши, крысы) ультразвук оказывал влияние на репродуктивную

функцию, вызывал аномалии развития плода. В культурах клеток ультразвук может индуцировать хромосомные изменения и мутагенез. Таким образом, хотя ультразвук человеком субъективно не воспринимается, он разрушительно действует на его здоровье.

Вибрация - одна из форм физического загрязнения среды, представляющая собой сложный колебательный процесс с широким диапазоном частот. Так же, как и шум, вибрация измеряется в логарифмических единицах уровней мощности - децибелах. Источники вибрации - транспорт, инженерное оборудование, промышленные установки. Установлено, что вибрация отрицательно влияет на иммунную, сердечно-сосудистую, репродуктивную системы и на состав крови человека и способна вызывать вибрационную болезнь.

Температура окружающей среды - один из важнейших абиотических факторов, обеспечивающих жизнедеятельность и нормальное существование растений и животных. Особенно заметно влияние температуры на такие жизненно важные процессы, как фотосинтез, обмен веществ (метаболизм), двигательная активность, размножение организмов.

Тепловым загрязнением называется остаток тепла от топлива, не использующийся по прямому назначению (например, для обогрева) и попадающий в окружающую среду (гидросферу и атмосферу).

Тепловое загрязнение - это одна из форм физического загрязнения, происходящего в результате повышения температуры среды в основном в связи с промышленным выбросом нагретого воздуха, отработанных газов и теплых вод. Подобное загрязнение возникает как вторичный результат изменения химического состава среды в результате парникового эффекта. К негативным экологическим последствиям могут принести и «тепловые отходы», выделяющиеся при получении и переработке электрической энергии.

Источниками теплового загрязнения являются электростанции с охлаждением открытого типа (когда нагретая вода из систем охлаждения поступает в водоем), теплотрассы и подземные газопроводы.

Тепловое загрязнение может не вызывать прямого негативного эффекта у живых организмов (т. е. не приводит к гибели организма), а иметь отдаленные последствия в виде снижения репродуктивности особей и популяций (способно-

сти оставлять жизнеспособное потомство) и уменьшения продолжительности жизни. Известно, что небольшое повышение температуры окружающей среды стимулирует раннее созревание яиц или икринок, но впоследствии приводит к повышенной смертности организмов вследствие недостатка пищи. Кроме того, у особей, перенесших тепловой шок, изменяются поведенческие реакции, они теряют способность отыскивать пищу и становятся легкой добычей хищников. Экологами давно замечено, что тепловое загрязнение ведет к упрощению (депрессии) экосистем, снижению их биоразнообразия.

Химические экологически опасные факторы включают загрязняющие вещества природного происхождения, превышающие природный фон, а также искусственно созданные вещества.

Известно, что только 10 % добываемого сырья превращается в готовую продукцию, а остальное составляют отходы, загрязняющие природную среду.

Доля антропогенного выброса загрязняющих веществ продолжает увеличиваться, причем источником наиболее опасных загрязняющих химических веществ почти на 100 % является производство. Что же входит в понятие особо опасных веществ? Существует несколько параметров используемых при оценке степени опасности того или иного вредного химического соединения, в том числе:

- абсолютная токсичность соединения (устанавливаемая в специальных экспериментах на лабораторных животных);
- минимально действующие - «пороговые» - концентрации вещества, делающие его опасным;
- воздействие на молекулярном уровне, вызывающее мутации или хромосомные изменения (тератогенность);
- канцерогенность - стимуляция образования раковых опухолей;
- способность вызывать то или иное заболевание организма (человека, животного или растения);
- степень химической устойчивости, скорость, выведения из организма;
- возможность накопления в биологической системе (биоаккумуляция);
- широта распространения в биосфере, возможность трансграничных переносов.

Если химическое соединение обладает хотя бы одним из перечисленных параметров, то его относят к классу химически опасных соединений. Если же соединение обладает всеми этими параметрами, определяющими степень его опасности, то оно относится к классу особо опасных. Такие соединения чаще всего бывают органического происхождения. Они легко встраиваются в любые биологические структуры и очень медленно выводятся из организма.

К настоящему времени эксперты из Глобального экологического Фонда* выделили 64 чрезвычайно опасных химических соединения, в том числе 12 стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ), требующих первоочередных мер по защите от них окружающей природной среды.

К наиболее опасным химическим загрязнителям природной среды относятся:

- *тяжелые металлы* - свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, никель, хром, бериллий и все органические соединения ртути, свинца и олова;

- *пестициды* (альдрин, хлордан, ДДТ, гептахлор, гексахлорциклогексан и др. – химические соединения, используемые для защиты растений, сельхозпродуктов от организмов- вредителей;

- *промышленные химические вещества* (гексахлорбензол, ПХБ, фталаты, хлор- и нитробензолы, цианиды),

- *побочные продукты производства* (диоксины, фураны, ПАУ, хлороформ и др.).

Рассмотрим особенности воздействия некоторых стойких загрязняющих веществ на здоровье населения и природные экологические системы.

Тяжелые металлы. К группе тяжелых металлов относят имеющие плотность более 8г/см^3 - свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, сурьму, висмут, ртуть, олово, ванадий, а также хром, серебро, золото, платину, железо, марганец и мышьяк. Многие из этих металлов широко распространены в окружающей среде

* Глобальный экологический фонд (Global Environmental Facility) - международная организация в рамках Программы развития ООН, осуществляющая финансирование природоохранных проектов в развивающихся странах и странах с переходной экономикой для решения глобальных экологических проблем, к числу которых относятся: загрязнение атмосферы, океанов и морей, озер и рек, уменьшение биологического разнообразия живых организмов, изменение климата и истощение озонового слоя. В настоящее время в фонде участвуют 155 стран. Из них 24 относятся к экономически развитым, а остальные - к развивающимся и странам с развитой экономикой.

и способны вызвать заболевания людей и нарушения в экосистемах. Наиболее опасными из всех тяжелых металлов считаются свинец, ртуть и кадмий.

Свинец - рассеянный элемент, содержание которого в земной коре и атмосфере составляет $2 \cdot 10^{-9}$ мкг/м³ и $5 \cdot 10^{-4}$ мкг/м³ соответственно.

Выбросы свинца в окружающую среду в результате деятельности человека весьма значительны. Основным источником загрязнения биосферы этим элементом - выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания.

В промышленно развитых странах более 90% антропогенного загрязнения свинцом (260 тыс.т.) приходится именно на этот источник в России с ним связано ежегодное поступление в окружающую среду до 4 тыс.т свинца. Концентрация свинца в природных водах обычно не превышает 10 мкг/л. Свинец распространяется в окружающей среде главным образом через трансграничные переносы.

Ртуть, свинец и кадмий обладают широким спектром токсических эффектов на теплокровных животных, которые обусловлены блокадой активных групп молекул белка (аминных и сульфгидрильных). Указанные металлы способны нарушать биосинтез белков и процессы дыхания (окислительного фосфорилирования) в митохондриях почек и печени. Установлено воздействие этих металлов на нервные и половые клетки. Особо чувствительны к действию этих металлов организмы в эмбриональной стадии.

Аккумуляция свинца представителями животного мира зависит, и в первую очередь, от положения организмов в трофической сети. Так у беспозвоночных животных свинец концентрируется в твердых хитиновых покровах, у позвоночных - в костной ткани, у рыб - в половых органах (гонадах), у птиц - перьях, у млекопитающих - в головном мозге и печени. Повышенное содержание свинца в почве ведет к уменьшению числа основных представителей почвенной микрофлоры. Устойчивы к токсичному воздействию соединений свинца некоторые почвенные грибы, а чрезвычайно чувствительны - низшие грибы-плесени (актиномицеты) и азотфиксирующие бактерии. Последних можно использовать в качестве биоиндикаторов степени загрязнения почв соединениями свинца. Коэффициент накопления свинца некоторыми видами планктона достигает 12000. Интенсивно аккумулируют свинец хвойные деревья и мох. Люди чаще всего подверга-

ются воздействию свинца при употреблении загрязненной пищи и воды, а также при дыхании. Кроме того, дети могут получать свинец через грудное молоко.

Концентрация свинца в костях современного человека в 700..1200 раз превышает его содержание в скелетах людей, живших 1600 лет назад.

Самое губительное воздействие свинец оказывает на здоровье детей, приводя к снижению их интеллекта и к нарушениям физической активности, координации и слуха. Особо следует отметить, что маленькие дети значительно легче, чем взрослые аккумулируют свинец и потому относятся к группе высокого риска в отношении свинцовых отравлений. Проведенные медико-экологические исследования показали, что у 1,9 млн. детей, проживающих в 120 городах России, содержание свинца в крови превышает безопасный уровень. Воздействие свинца на взрослое население проявляется в нарушениях функционирования репродуктивной и сердечно-сосудистой систем.

Ртуть - рассеянный элемент, среднее содержание которого в атмосфере обычно ниже 50 нг/м^3 , в земной коре - около $0,08 \text{ мг/кг}$. Ртуть широко используется в электротехнической промышленности и приборостроении, на хлорных производствах как катализатор при синтезе пластмасс, а также в лабораторной и медицинской практике и сельском хозяйстве. Основные источники загрязнения окружающей среды этим элементом: пирометаллургические процессы получения металла, сжигание органических видов топлива, сточные воды, производство цветных металлов, красок, фунгицидов и т. д.

Выбросы ртути в окружающую среду в результате деятельности человека весьма значительны. Суммарная (природная и антропогенная) эмиссия ртути в атмосферу составляет свыше 6000 т ежегодно, причем антропогенная составляющая превышает 60 %.

Наибольшую опасность представляют токсические органические соединения тяжелых металлов в водной среде, где они активно аккумулируются планктонными организмами и рыбами. Широко известный пример негативных последствий загрязнения водной среды ртутью - «болезнь Минамато», выражающаяся в нарушениях зрения, слуха, осязания, неврологических расстройствах. Первые случаи этого заболевания были отмечены среди рыбаков на юге Японии, на берегах бухты Минамато в 1956 г. У людей, потребляющих в пищу рыбу, за-

грязненную метилртутью было обнаружено достоверное повышение числа хромосомных нарушений. 90у новорожденных детей были зарегистрированы врожденные пороки развития и необычно высокая частота уродств. Только в 1969 г. было доказано, что причина заболевания - метилртуть, которая поступала со стоками фабрики по производству азотных соединений и концентрировалась в морских организмах и рыбе, служившей пищей для населения. Всего было официально зарегистрировано 292 случая этой болезни, в 62 из них заболевшие скончались.

Кадмий, так же, как ртуть и свинец, относится к рассеянным элементам и содержится в виде примеси во многих минералах. Средняя концентрация кадмия в морской воде - около 0,1 мкг/л, а в земной коре - 0,1 мг/кг (обычно он сопутствует цинку). Кадмий находит широкое применение в ядерной энергетике (из него изготавливают стержни атомных реакторов), в гальванотехнике в качестве антикоррозийных и декоративных покрытий, производстве аккумуляторов (никель-кадмиевые батареи), используется как электродный материал и компонент различных сплавов. *Основные источники загрязнения* окружающей среды этим элементом: производство цветных металлов, сжигание твердых отходов, угля, сточные воды горно-металлургических комбинатов, производство минеральных удобрений, красителей и т. д.

Антропогенная эмиссия кадмия в биосферу превышает природную в несколько раз. В воздушную среду ежегодно поступает около 9000 т кадмия, причем более 85 % - в результате деятельности человека.

Кадмий легко аккумулируется многими организмами, в особенности бактериями и моллюсками, в которых коэффициенты биоаккумуляции достигают порядка нескольких тысяч. Наибольшее содержание кадмия обнаруживается преимущественно в почках, жабрах и печени и в почках, печени и скелете наземных видов. В растениях кадмий концентрируется в основном в корнях и в меньшей степени в листьях. В организме животных и человека кадмий способен замещать кальций, нарушая тем самым физиологические процессы регуляции поглощения кальция. Установлено что токсическому действию кадмия наиболее подвержены водные организмы в эмбриональной стадии развития.

Эпидемиологические данные указывают на чрезвычайную опасность кадмия для человека, так как он весьма медленно выводится из человеческого орга-

низма и отравление кадмием может принимать хроническую форму-болезнь «итай-итай».

Диоксины и диоксиноподобные соединения. В большую группу диоксинов входят хлорсодержащие органические вещества: полихлорированные дибензодиоксины (ПДД), дибензофураны (ПХДФ) и бифенилы (ПХБ), поливинилхлорид (ПВХ) и ряд других. Эти чужеродные живым организмам соединения (ксенобиотики) попадают в окружающую среду только с продукцией или отходами промышленного производства. Так, диоксины часто образуются в виде примесей при производстве гербицидов, хлорфенолов и полихлорированных бифенилов. К другим источникам диоксинов относятся: металлургическая промышленность, возгорание и поломка электрического оборудования, лесные пожары, сжигание муниципальных, медицинских и опасных отходов.

Диоксины обладают высочайшей токсичностью и стойкостью. Они легко проникают в ядра клеток живых организмов, вызывают с одной стороны ускоренное разрушение гормонов и витаминов, а с другой - активируют канцерогенез (образование раковых клеток). Особо опасно то, что диоксины обнаружены во многих компонентах окружающей среды - в воздухе, почве, донных отложениях, рыбе, молоке, овощах и т. д. В районах, загрязненных диоксинами, отмечен высокий уровень их содержания в грудном молоке.

На диоксин как побочный продукт производства в деревообрабатывающей промышленности впервые обратили внимание в 1960 - 1970 гг. Массовое заболевание пораженных диоксином людей, работавших на этом производстве, получило название «хлоракне». В дальнейшем свойства этого вещества были изучены, и США применили его во время вьетнамской войны в качестве дефолианта при обработке с воздуха тропических лесов для облегчения поиска партизан.

Диоксины и диоксиноподобные соединения - *супертоксианты*, т. е. они канцерогенны, мутагенны и тератогенны (способны вызывать раковые опухоли, генетические мутации и уродства). Отличительная черта представителей этой группы - чрезвычайно высокая устойчивость к химическому и биологическому разложению и способность сохраняться в окружающей среде. Проведенные исследования показали, что если немедленно полностью прекратить выброс диоксинов в окружающую среду, пройдет несколько сотен лет, прежде чем их содер-

жание достигнет безопасного уровня. Таким образом, среди химических веществ, загрязняющих природные среды, диоксины занимают особое место, представляя собой вещества чрезвычайно опасные для здоровья) нынешнего и будущего поколений.

Пестициды. В 1938 г. швейцарский химик Пауль Мюллер обнаружил инсектицидные (губительные для отдельных видов насекомых) свойства у дихлордифенилтрихлорэтана (ставшего известным позднее под названием ДДТ) и спустя 10 лет за это открытие был удостоен Нобелевской премии в области биологии и медицины. Действительно, уже первые результаты применения этого «чудо - оружия» были просто ошеломляющими - рост урожайности, внедрение экономических способов ведения сельского хозяйства, новые эффективные средства борьбы с насекомыми, переносчиками инфекции.

Во время Второй мировой войны ДДТ был применен против вшей, распространяющих сыпной тиф. В результате это была первая из войн, в которой от тифа погибло меньше людей, чем от пуль противника.

Использование ДДТ против комаров - переносчиков малярии резко снизило смертность от этого заболевания.

Если еще в 1948 г. только в Индии от малярии погибло более 3 млн. человек, то в 1965 г. в этой стране не было зарегистрировано ни одного случая смерти от малярии.

Именно благодаря ДДТ удалось спасти миллионы жизней, и именно за это П. Мюллер по праву получил Нобелевскую премию.

Однако спустя два-три десятилетия выявились и негативные экологические последствия необдуманного использования ДДТ и многих других пестицидов. Было установлено, что ДДТ быстро распространяется на большие расстояния и может накапливаться на значительном удалении от районов непосредственного применения в результате переносов с воздушными потоками и океанскими течениями. В настоящее время загрязнение природной среды этим инсектицидом приняло повсеместный характер и ДДТ обнаружен даже в Антарктиде.

Широкое применение ДДТ и других хлорированных пестицидов в сельском хозяйстве породило следующие серьезные проблемы: 1) развитие устойчивости (резистентности) у насекомых-вредителей; 2) устойчивость пестицидов в окру-

жающей среде и накопление их в возрастающих концентрациях в живых организмах; 3) негативные воздействия на окружающую среду и здоровье человека

Популяции насекомых-вредителей чрезвычайно изменчивы и при воздействии пестицидов наиболее чувствительные особи погибают, а выживают резистентные, которые дают более выносливое поколение.

Все это происходит очень быстро, так как способность многих насекомых к размножению просто феноменальна. Таким образом, использование пестицидов в сельском хозяйстве создает давление естественного отбора, приводящее к возникновению популяции вредителей, устойчивой к действию пестицидов. Известны случаи, когда устойчивость насекомых к химикатам возрастала в десятки тысяч раз. Около 25 основных видов насекомых-вредителей стали устойчивыми ко всем пестицидам. Следует отметить, что число видов насекомых, устойчивых к пестицидам, возросло за первые 10 лет интенсивного использования пестицидов почти в два раза - с 224 до 428 видов.

Другой аспект проблемы связан с судьбой пестицидов в окружающей среде. Период полураспада у ДДТ составляет примерно 20 лет. Подавляющее большинство наиболее известных пестицидов имеют тенденцию накапливаться в живых организмах, причем в концентрациях, возрастающих по мере продвижения по пищевым цепям (от растений к крупным животным). Это называется эффектом биологического усиления.

У человека, так же, как и у многих других видов, ДДТ концентрируется преимущественно в жировой ткани, но способно выделяться с грудным молоком и даже проходить через плацентарный барьер. При воздействии ДДТ на людей наблюдаются репродуктивные и гормональные нарушения, поражения почек, центральной и периферической нервной системы.

Несмотря на то что уже в начале 1970-х годов в большинстве стран был наложен запрет на выпуск и применение некоторых пестицидов, опасность негативных последствий загрязнения биосферы ДДТ, как и другими пестицидами, существует и по сей день. Первая страна в мире, где было запрещено производство и использование ДДТ, - Новая Зеландия, а вторая - СССР.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В настоящее время известно огромное количество ПАУ. Соединения этой группы встречаются прак-

тически во всех сферах окружающей человека среды. Естественный поток ПАУ в биосферу - это результат извержения вулканов, лесных пожаров и жизнедеятельности различных видов микроорганизмов и растений.

Основные антропогенные источники ПАУ - промышленные выбросы коксохимических, металлургических, нефтеперерабатывающих производств, а также предприятия теплоэнергетики, автомобильного и водного транспорта, авиации.

Биологические эффекты бензопирена (БП) широко исследовались на различных организмах. Установлено, что БП и другие ПАУ в малых концентрациях обладают ростостимулирующим действием для ряда растений. В то же время для низших беспозвоночных отмечены тетрагенные и канцерогенные эффекты. При контактах с ПАУ в производственных условиях у людей могут возникать различные заболевания: дерматиты, кератоконъюнктивиты, а также повышается риск возникновения ишемической болезни сердца, хронических заболеваний легких и других болезней дыхательной системы.

В России в условиях существенного превышения нормативных уровней загрязнения ПАУ атмосферного воздуха проживает около 14 млн. чел. Принимая во внимание повсеместную распространенность группы полициклических ароматических соединений в среде обитания человека, их способность к аккумуляции, а также способность вызывать мутагенные, канцерогенные и эмбриотоксические эффекты, ПАУ следует относить к одним из наиболее экологически опасных факторов.

Нитриты, нитраты. Основным источником нитратов - минеральные удобрения, содержащие анион NO_3 . Накопление нитратов в некоторых сельскохозяйственных культурах и воде обычно связано с неправильным внесением минеральных удобрений. Сами по себе нитраты обладают незначительной токсичностью, но, попадая в организм человека, они под влиянием сапрофитных кишечных бактерий легко превращаются в нитриты (NO_2). Последние способны вступать в химические реакции, в итоге которых образуют нитрозамины - сильные канцерогены.

Загрязнение природных экосистем веществами, содержащими азот и фосфор, может вызвать антропогенную сукцессию, т. е. трансформацию экосистем. Примером такого рода сукцессии, вызванной соединениями азота и фосфора, мо-

жет служить процесс антропогенного эвтрофирования водоемов. Хотя эвтрофирование водоемов является природным процессом и его развитие оценивается в рамках геологических масштабов времени, однако в течение нескольких последних десятилетий человек существенно увеличил использование фосфор- и азотосодержащих веществ в сельском хозяйстве в качестве удобрений и детергентов. Во многих водоемах, в которые попадают фосфор- и азотсодержащие стоки с водосборной территории, наблюдается резкое увеличение обилия фитопланктона, зарастание водной растительностью прибрежных мелководий и ухудшение качества воды. Этот процесс стали называть *антропогенным эвтрофированием*.

В настоящее антропогенное эвтрофирование водоемов рассматривается как самостоятельный процесс, принципиально отличающийся от естественного эвтрофирования водоемов. Естественное эвтрофирование - процесс очень медленный, идущий тысячи, десятки тысяч лет; развивается он главным образом вследствие накопления донных отложений и обмеления водоемов. Антропогенное эвтрофирование - процесс очень быстрый (годы десятки лет); его отрицательные последствия для водоемов проявляются зачастую в очень резкой форме: чистый водоем может превратиться в зловонное болото.

Биологические опасные факторы. Под биологическим загрязнением понимают все виды биологического вторжения в экосистемы и организм человека, приводящие к нарушению их адаптивных возможностей, патологическим заболеваниям или деградациии.

Характеризуя биологически опасные факторы, целесообразно отдельно рассматривать специфику поражения человеческого организма и экосистемы. К общим реакциям живых систем на воздействие физико-химических загрязнений относится снижение защитно-адаптивных свойств. При этом организмы и экосистемы становятся открытыми для биологического поражения. Если физико-химические нагрузки выходят за «пределы выносливости» отдельных видов биоценоза, то возможна либо аллогенная сукцессия с развитием новых видов организмов, либо частичная дегградация экосистем.

К биологическому загрязнению антропогенного характера относят также интродукцию (вторжение), т. е. случайное или намеренное переселение организмов в природные или аграрные экосистемы, в которых ранее их не было. Интро-

дукция приводит к нарушениям исторически сложившихся связей в биоценозе (сообществе организмов), а нередко и к полному вытеснению отдельных видов растений или животных. Известными примерами интродукции в природные экосистемы может служить массовое размножение кроликов, завезенных человеком в Австралию в XIX в., уничтожение хищным моллюском *Rapana*, попавшим из Японского моря в Черное море, обитавших в нем устриц, массовое расселение колорадского жука в Европе, случайно завезенного из Северной Америки, и т. п. Организмы могут попадать в чужие экосистемы разными путями: с балластными водами судов (моллюск *Rapana*), с импортируемой растительной продукцией, продовольственными товарами и пр. Например, семена сорных растений, не произрастающих в России, попадают на территорию страны вместе с импортируемой пшеницей (только за одно десятилетие обнаружено около 100 видов семян таких сорных растений). Подсчитано, что только один сухогруз грузоподъемностью 50 тыс. т поставляет от 20 до 50 млн. штук семян отсутствующих в нашей стране сорных растений, которые могут интродуцироваться в природные и аграрные экосистемы.

Важный компонент любых экосистем - *микроорганизмы*. Качественные и количественные изменения этого компонента весьма существенны для характеристики экосистем и среды обитания человека. Микроорганизмы образуют микробиоценозы, представляющие совокупность микробных популяций в разных средах: воздухе, воде, почве, организме человека, животных, растениях, пищевых продуктах. Эти разнообразные биоценозы формировались в процессе эволюции через мутации, рекомбинации, процессы селекции. Существует огромное количество аэробных и анаэробных непатогенных (не болезнетворных или сапрофитных) микроорганизмов, участвующих в круговороте веществ. Это могут быть специализированные азотфиксирующие микроорганизмы (симбиотические клубеньковые бактерии, синезеленые), денитрифицирующие, нитрифицирующие, аммонифицирующие бактерии, а также хемоавтотрофные бактерии, например, серо- и железобактерии. Однако интенсивная техногенная деятельность человека ведет к непрерывной перестройке микробных сообществ, и свойства микроорганизмов при этом могут изменяться под воздействием среды их обитания. Вызывает тревогу появление необычайно большого количества микроорганизмов, раз-

множившихся на антропогенных субстратах и изменивших свою непатогенную форму на опасную патогенную.

К биологическим видам загрязнения относится и антропогенная эвтрофикация водных экосистем, вызванная поступлением в водоемы больших количеств органического вещества с водосборной территории. Антропогенная эвтрофикация ведет к деградации водных экосистем из-за чрезмерного накопления в воде биогенных элементов, способствующих бурному развитию синезеленых (цианобактерий) и нитчатых зеленых водорослей, снижению запасов кислорода, необходимого для окисления мертвого органического вещества что ведет к снижению качества питьевой воды.

При рассмотрении влияния негативных факторов на здоровье населения следует иметь в виду, что способность организма человека противостоять негативным воздействиям извне определяется его иммунитетом. Первой ответной реакцией организма человека на антропогенное физико-химическое воздействие является снижение внутриклеточного иммунитета, т. е. способности вырабатывать защитные белки, что делает человеческий организм особо уязвимым для всех видов биологического вторжения - вирусов, бактерий, грибов, гельминтов и даже инфекционных белков (прионов). Причем такого рода ответная реакция на вредное воздействие различных загрязнителей характерна для всех звеньев иммунной системы человека. В настоящее время нарушение иммунитета организма человека в экотоксикологии называют маркером загрязнения окружающей среды и сигналом для принятия гигиенических регламентов (законов).

Существуют различные формы биологического вторжения в организм человека, животных или растений, и все они называются *инфекциями*. Их наличие в организме само по себе не всегда означает внедрение и размножение в нем возбудителей болезни (бактерий, вирусов, простейших, грибов, гельминтов).

В кишечнике человека присутствует некоторое количество сапрофитных (нейтральных, не болезнетворных) бактерий, а также полезная кишечная микрофлора, необходимая для производства витаминов группы В и витамина К₂, нужного для синтеза протромбина в организме человека. При определенных условиях иммунного ослабления организма сапрофитные формы микроорганизмов кишечника становятся опасными (патогенными) и человек заболевает. В результате ле-

чения антибиотиками в его организме возникает дисбаланс кишечной микрофлоры, при котором происходит избыточное размножение сапрофитных бактерий и развивается заболевание, называемое дисбактериозом.

Загрязнение воздушной среды микроорганизмами не столь значительно, как других сред обитания, ввиду отсутствия в ней питательных веществ и из-за инсоляции воздушного пространства. Так, в воздухе Арктики и Антарктики, а также над лесными и горными массивами содержание микроорганизмов совсем незначительно. Однако воздух крупных городов, особенно промышленных центров, содержит в образующихся аэрозолях довольно существенные количества микроорганизмов. Воздушная микрофлора в городах очень разнообразна. В настоящее время обнаружено более 350 видов бактерий, чаще всего это спорообразующие микробы и 28 родов микроскопических грибов. Среди патогенных организмов воздушной среды следует выделить гемолитический стафилококк и стрептококк - возбудителей тяжело переносимых инфекций.

В некоторых случаях технический прогресс может приводить к появлению новых инфекционных заболеваний. Так, в 1976 г. в Филадельфии (США) произошла вспышка острой формы лихорадки, вызванной неизвестным до того времени возбудителем инфекции. Заболели 182 человека, собравшихся на съезде американских легионеров, из которых половина скоротечно скончалась. Настойчивые поиски учеными источников заражения привели к неожиданному результату: возбудителем неизвестной ранее инфекции явилась бактерия, которую прежде считали неопасной. Фактором передачи инфекции и средой обитания бактерий послужила дистиллированная вода, циркулирующая в системе охлаждения централизованных кондиционеров воздуха. По системе воздуховодов бактерии, с тех пор называемые легионеллами, попадали в воздух закрытых помещений гостиницы и заражали людей. Это один из многочисленных случаев, когда относительно безобидная форма микроорганизмов превратилась в смертельно опасную под воздействием техногенно измененной среды обитания.

Есть виды микрофлоры, повсеместно встречающиеся в биосфере и обитающие во всех средах. Это микроскопические грибы, обычно называемые плесеньями. Чаще всего они не патогенны, но в условиях загрязнения окружающей среды и снижения адаптивных возможностей экосистем и организмов, в ней оби-

тающих, они стали стремительно поражать сельскохозяйственные культуры и попадать с продуктами их переработки в продукты питания. Следы плесеней обнаруживаются и в наших жилищах. Причиной поражения человеческого организма плесенями чаще всего являются иммунодефицитные состояния, возникающие вследствие загрязнения биосферы и употребления антибиотиков. Микроскопические грибы опасны не сами по себе, а своими прижизненными органическими выделениями, которые называются микотоксинами. Эти токсические органические вещества могут оказывать серьезное негативное влияние на здоровье человека и животных. Особое место среди всех микотоксинов занимает афлотоксин, продуцируемый плесневыми грибами аспергилусами (черная плесень). Чаще всего эта плесень поражает масличные и злаковые сельскохозяйственные культуры, встречается и в тканях животных и человека.

В основном афлотоксины поражают печень, вызывая злокачественные новообразования. Особо чувствительны к губительному действию афлотоксинов рыбы, в частности искусственно разводимая форель, которую кормят биодобавками, содержащими афлотоксины. Последние обладают также тератогенным эффектом и широким спектром мутагенных эффектов.

Одним из видов биологического вторжения в экосистемы и человеческий организм является проникновение гельминтов - паразитирующих червей. Существуют гельминты, которые поражают растения, разрушая их сокопроводящие системы, есть гельминты паразитирующие и промежуточных хозяевах (рыбах, моллюсках), но в итоге поражающие человека и животных. От глистных инфекций (шистосомоз, клонорхоз, описторхоз и пр.) в мире страдают более 200 млн. человек, в основном в Юго-Восточной Азии. Особую тревогу вызывает заражение почвы городов геогельмитами (токсокарами), паразитирующими в организмах собак и содержащимися в их фекалиях. Наиболее опасно заражение токсокарозом беременных женщин, так как в 40% случаев это приводит к тяжелым поражениям плода. Городские песочницы и земля в скверах чаще всего являются причиной глистных инвазий у детей. Есть целый ряд инфекционных заболеваний, которые распространяются вследствие загрязнения питьевых водоисточников сточными или канализационными водами (холера, брюшной тиф дизентерия, вирусный гепатит А). К сожалению, встречаются случаи заражения жгутиковыми простейши-

ми (лямблиоз) через хлорированную воду, так как обеззараживание воды хлорированием не дает гарантии ее биологической безопасности в отношении цист простейших (лямблиоз) и некоторых вирусных инфекций. Так, в середине XX в. произошла крупномасштабная эпидемия вирусного гепатита А (более 50 тыс. случаев) в Нью-Дели (Индия). Болезнь была вызвана попаданием канализационных стоков в водоем, из которого орали питьевую воду для хлорирования.

Исследования, проведенные на территории Российской Федерации свидетельствуют о нарастании угрозы экологического взрыва инфекционных вирусных заболеваний. Сама природа вирусов, неклеточных белковых структур, содержащих фрагмент генетического материала, определяет постоянный поиск живого субстрата (клетки), на котором они могли бы паразитировать. Вирусы с легкостью мутируют, заимствуя чужую генетическую информацию в условиях химического поражения окружающей среды.

В современной научной литературе сформировалось понятие *эволюции эпидемических процессов*, обусловленной глобальными экологическими нарушениями. В первую очередь это относится к вирусным инфекциям. Появились новые болезни, связанные с комплексным воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды (синдром множественной химической чувствительности), обнаружены новые виды вирусных заболеваний: синдром хронической усталости, птичий грипп, синдром приобретенного иммунодефицита и др.

Новым бичом человечества становятся неизвестные ранее *прионные болезни* (болезнь бешенства коров), связанные с патогенным белком - прионом. Особую опасность представляет то, что патогенность белков - прионов при термической обработке продуктов питания не снижается. Прионы - белки, осуществляющие в организме человека и позвоночных животных передачу нервного импульса с одного нервного окончания на другое. Сама патогенность белков - прионов, вызывающих заболевания в организме коров и передающихся людям через мясные продукты, связана с искаженной вторичной структурой молекулы белка. При попадании в организм человека патогенных прионов протекает медленная цепная реакция, в ходе которой патогенность одной молекулы передается нормально функционирующим молекулам белков - прионов. В течение этого периода (до

10 лет) болезнь протекает в скрытой форме, после чего проявляется в открытой форме, и организм погибает.

Большую потенциальную опасность для нынешнего и будущих поколений представляет также использование в качестве продуктов питания недостаточно изученных и не проверенных в длительных лабораторных исследованиях трансгенных (генетически модифицированных) организмов.

Уже появились первые тревожные сведения о губительном воздействии пыльцы трансгенных растений на отдельные виды насекомых, о возможности спонтанной (непредсказуемой) мутации почвенной сапрофитной микрофлоры полей, на которых выращиваются генетически модифицированные растения. Поэтому, несмотря на большую экономическую эффективность производства генетически модифицированных белков, надо проявлять большую осторожность при их переработке и использовании в пищу.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите существующие виды антропогенного воздействия.
2. В чем специфика воздействия антропогенных факторов на разных структурных уровнях организации жизни?
3. Назовите приоритетные химические антропогенные факторы.
4. Какие процессы происходят в экосистеме при воздействии на нее внешних неблагоприятных антропогенных факторов?
5. Что такое болезнь с экологической точки зрения?
6. Перечислите антропогенные факторы, влияющие на здоровье людей.
7. В чем опасность воздействия на здоровье человека патогенных прионов и генетически модифицированных организмов?

8. ГИДРОСФЕРА КАК СРЕДА ЖИЗНИ

Живые организмы в ходе длительного исторического развития освоили четыре среды жизни, которые объединяют все разнообразие существующих на Земле условий: *водную, наземно-воздушную, почвенную, организменную*.

Под средой обитания понимают часть природной среды, которая окружает организмы и оказывает прямое или косвенное воздействие на их состояние, развитие, выживание и размножение.

Из среды особи получают необходимое для своего существования и в нее же выделяют продукты своего метаболизма.

Каждой из упомянутых сред жизни присущ определенный, отличный от других сред комплекс условий (экологических факторов). Одни факторы, всегда для данной среды жизни присутствующие в избытке, являются средобразующими и обуславливают свойство сред. Другие факторы могут периодически принимать минимальные значения и ограничивать возможность существования организмов на какой-либо территории.

В водной среде (гидросфере) возникла и распространилась жизнь. В дальнейшем в ходе исторического развития организмы начали заселять и наземно-воздушную среду. Появились наземные растения и животные, которые в процессе эволюции приспособились к новым условиям жизни.

Гидросфера - это прерывистая водная оболочка Земли, представляющая собой совокупность морей и океанов, пресных континентальных вод (поверхностных и подземных) и ледяных покровов. Моря и океаны занимают около 71 % земной поверхности, в них сосредоточено около 97 % всего объема воды на Земле. На пресные воды приходится всего 3 %. Большая часть пресных вод (85 %) сосредоточена во льдах полярных зон и ледников. Таким образом, в пресных водах рек и озер количество воды не превышает 0,019 % общего объема воды.

Важнейшее свойство гидросферы - единство всех родных вод (Мирового океана, вод суши, водяного пара в атмосфере, подземных вод), которое обеспечивается в процессе круговорота воды в природе. Движущими силами этого глобального процесса служат тепловая энергия Солнца, поступающая на поверхность Земли, и сила тяжести. Они обеспечивают перемещение и возобновление природ-

ных вод всех видов. Испарение с поверхности Мирового океана и с поверхности суши является начальным звеном круговорота воды в природе.

Вода - один из важнейших экзогенных факторов, видом изменяющих земную поверхность. Теплоемкость воды более чем в 3 тыс. раз больше теплоемкости воздуха. Поглощая огромное количество тепловой энергии и, медленно отдавая ее, вода служит регулятором климатических процессов глобального масштаба.

Не только водная среда оказывает сильное влияние на ее обитателей, но и живое вещество гидросферы, воздействуя на среду обитания, перерабатывает ее и вовлекает в круговорот веществ. Установлено, что вода океанов, морей, рек и озер разлагается и восстанавливается в биотическом круговороте за 2 млн. лет, т.е. вся вода биосферы прошла через живое вещество на Земле за время ее существования и не одну тысячу раз.

Следовательно, современная гидросфера представляет собой продукт жизнедеятельности живого вещества не только современной, но прошлых геологических эпох.

Характерная черта водной среды - ее *подвижность*, особенно в проточных, быстро текущих ручьях и реках. В морях и океанах наблюдаются мощные течения, приливы и отливы, штормы. В озерах вода перемещается под действием температуры и ветра.

В жизни водных организмов большую роль играют вертикальное перемещение воды, плотность, температурный, световой, солевой, газовый (содержание кислорода и углекислого газа) режимы, концентрация водородных ионов (рН).

В водной среде обитает примерно 150 000 видов животных или около 7% от общего их количества, и 10 000 видов растений (8%).

Мировой океан. С экологической точки зрения наиболее интересны следующие характеристики Мирового океана.

1. В океане не существует безжизненных зон, однако вблизи материков и островов воды заселены значительно гуще.

2. Все океаны соединены друг с другом и не подразделяются на изолированные области, подобно суше и пресным водам. Основными барьерами для свободного передвижения морских организмов. служат температура, соленость и глубина.

3. В море происходит постоянная циркуляция водных масс. Постоянные течения в Мировом океане (см. рис. 3.1) возникают в результате действия сильных ветров, дующих на протяжении всего года в одном направлении, и влияния вращения Земли. Наиболее значимыми для формирования структуры Мирового океана являются экваториальные течения восточного и западного направлений и прибрежные течения. Хорошо известны Гольфстрим и Североатлантическое течение, которые несут теплую воду и смягчают климат в северной части Европейского континента (см. рис. 3.1). Помимо поверхностных ветровых течений имеются глубинные (направленные от поверхности водной толщи в глубоководные слои), обусловленные различиями в плотности воды. Перемешивание воды в море настолько эффективно, что дефицит кислорода сравнительно редок в океанских глубинах (он часто наблюдается в пресных водоемах).

4. На море постоянно господствуют разного рода волны, происходят приливы и отливы, вызванные притяжением Луны и Солнца. Роль приливов особенно велика в прибрежной зоне, где они обуславливают заметную периодичность в жизни сообществ. Подъем и опускание уровня моря каждые 12 часов существенно меняют среду обитания на литорали (в приливно-отливной прибрежной зоне).

5. Одна из характеристик морской среды - ее соленость. Средняя соленость, или содержание солей, в океанской воде составляет 35 г на 1 л воды. В морях соленость может быть выше или ниже, чем в океане (например, в Красном море - до 40 г/л воды, а в Балтийском море - от 3 до 10 г/л воды).

Смена условий существования организмов от поверхности в глубину водной толщи и от прибрежных зон к открытым частям водоема определяет существование определенных зон жизни, населенных различными организмами и их сообществами, что позволяет говорить об *экологической зональности водоемов*. В основе экологической зональности лежат изменения различных факторов внешней среды: температуры, освещенности, гидростатического давления, газового режима, рельефа дна, трофических условий и пр.

В океане, с входящими в него морями, различают две экологические области: толщу воды - *пелагиаль* и дно - *бенталь* (рис. 8.1) В зависимости от глубины бенталь делится на следующие зоны:

- сублиторальную зону (континентальный шельф) - область плавного понижения суши до глубины 200 м;
- батимальную (континентальный склон) - область крутого склона;
- абиссальную зону - океаническое ложе со средней глубиной 3...6 км.

Более глубокие области бентали (с глубиной 6 - 10 км) называют *ультраабиссалью*. Кромка берега, заливаемая водой во время приливов, называется *литоралью*. Часть берега выше уровня приливов, увлажняемая брызгами прибоя, получила название *супралиторали*.

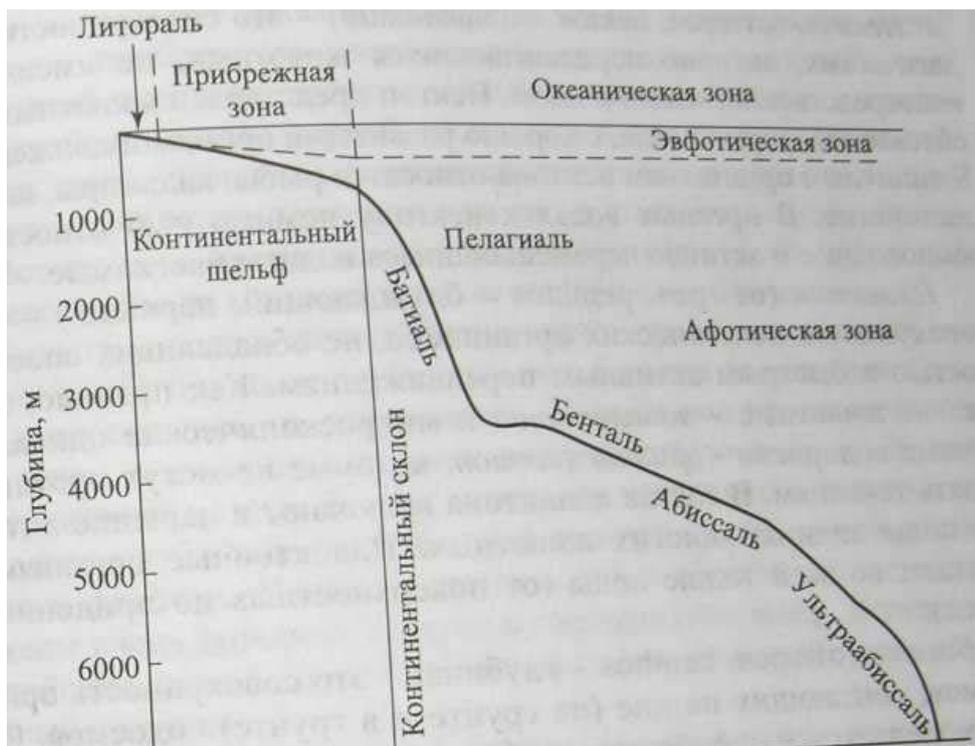


Рис. 8.1. Вертикальная экологическая зональность океана

В пелагиали вертикальная экологическая зональность выражена менее четко вследствие перемешивания вод и существования вертикальных миграций пелагических организмов. Обычно в пелагиали выделяют следующие зоны: *этипелагиаль* (0...200 м), *мезопелагиаль* (200... 1000 м) и *глубоководную зону* (более 1000 м). По количеству света, проникающего в толщу воды подразделяют на две горизонтальные зоны: верхнюю или *эвфотическую*, зону - зону первичного продуцирования в ходе фотосинтеза и нижнюю зону, простирающуюся до больших глубин - *афотическую* зону, где света для фотосинтеза недостаточно.

В прозрачных водах Мирового океана. (Саргассово море, тропическая зона океанов) эвфотическая зона достигает глубин 150....200 м. В более мутных и бо-

гателью жизнью прибрежных водах глубина эффективного проникновения света редко превышает 30 м.

Рассмотрим *основные экологические группы гидробиотонов*.

Толща воды заселена пелагическими организмами, обладающими способностью плавать или удерживаться в определенных слоях. Эти организмы подразделяют на две группы: *нектон* и *планктон*. Третью экологическую группу – *бентос* - образуют обитатели дна.

Нектон (от греч. nekton - плавающий) - это совокупность пелагических, активно передвигающихся животных, не имеющих непосредственной связи с дном. Нектон представлен животными с обтекаемой формой тела, с хорошо развитыми органами движения. К типичным организмам нектона относятся рыбы, кальмары, киты, ластоногие. В пресных водах к нектону помимо рыб относятся земноводные и активно перемещающиеся водные насекомые.

Планктон (от греч. plankton - блуждающий, парящий) - это совокупность пелагических организмов, не обладающих способностью к быстрым активным передвижениям. Как правило, это мелкие животные - *зоопланктон* и микроскопические одноклеточные водоросли - *фитопланктон*, которые не могут противостоять течениям. В состав планктона включают и парящие в толще воды личинки многих животных. Планктонные организмы обитают во всей толще воды (от поверхностных до придонных слоев).

Бентос (от греч. benthos - глубина) - это совокупность организмов, обитающих на дне (на грунте и в грунте) водоемов. Он подразделяется на *зообентос* и *фитобентос*, в основном представлен прикрепленными или медленно передвигающимися или роющими в грунте животными. На глубинах, где нет света фитобентос отсутствует. В морском зообентосе (т. е. среди донных животных) доминируют губки, кишечно-полостные черви рыбы и др. Более многочисленны бентосные формы на мелководьях. Общая биомасса бентоса в продуктивных районах океана (коралловые рифы) может достигать десятков килограммов на 1 м². Фитобентос морей в основном включает крупные прикрепленные водоросли (например, ламинарии, фукусы) и бактерии. У побережий встречаются цветковые растения. Наиболее богаты фитобентосом скалистые и каменистые участки дна.

Океанические области, удаленные от берегов, выглядят «пустыней» по сравнению с прибрежными водами и лиманами. Это связано с невысокой скоростью фотосинтеза (источник пищи для всех гидробионтов) из-за низкой концентрации биогенных элементов (нитраты и фосфаты) в эвфотической зоне не океанических областей. Арктические и антарктические моря значительно продуктивнее морей средних широт, о чем свидетельствует большое количество рыбы и китов, обитающих в полярных областях.

Жизнь в море сконцентрирована в основном около берега (в области континентального шельфа), где существуют благоприятные условия питания. Ни в каком другом месте, даже в дождевом тропическом лесу, нет такого разнообразия жизни. Значительная часть морского прибрежного зоопланктона составляет сезонный, или временный планктон, представленный личинками донных организмов (крабов, морских червей, моллюсков и др.) Эти организмы на первых этапах своего жизненного цикла обитают в толще воды, а во взрослом состоянии опускаются на дно и становятся частью бентоса. Все крупное промысловое рыболовство мира почти полностью сосредоточено на континентальном шельфе или вблизи него.

Большую роль в жизни океана играет процесс, названный *апвеллингом*. Это подъем глубинных вод, богатых элементами минерального питания, на поверхность. Подъем вод происходит там, где ветры постоянно отгоняют поверхностную воду от крутого материкового склона. В этих местах на поверхность поднимается холодная глубинная вода, богатая минеральными соединениями азота и фосфора. Наиболее продуктивные области океана расположены вдоль западных берегов материков (например, Перуанско-Чилийский район), о чем свидетельствует развитый здесь рыболовный промысел.

Поверхностные пресные воды. По сравнению с морями и океанами удельный вес рек, озер и болот, как уже отмечалось, незначителен. Однако они содержат необходимый для растений, животных и человека запас пресной воды.

Пресноводные местообитания подразделяют на три группы:

- стоячие воды (озера, пруды);
- текучие воды (реки, ручьи, родники);
- заболоченные участки суши.

Грунтовые воды, хотя они и образуют очень большой пресноводный резервуар и служат важным для людей ресурсом питьевой воды, в общем, не считаются экосистемой, так как обычно они безжизненны или населены очень слабо (иногда бактериями).

Характерная черта озер и крупных прудов - четкая зональность дна и стратификация (деление водной толщи на слои с разными физико-химическими свойствами: содержание кислорода, температура и пр.). В озерах, как и морях различают *планктон*, *нектон* и *бентос*. В типичном случае (рис. 8.2.) на дне мы можем различить *литоральную зону*, где встречаются прибрежные укореняющиеся растения, и глубоководную *профундальную зону*, где живут только гетеротрофы (животные и бактерии).

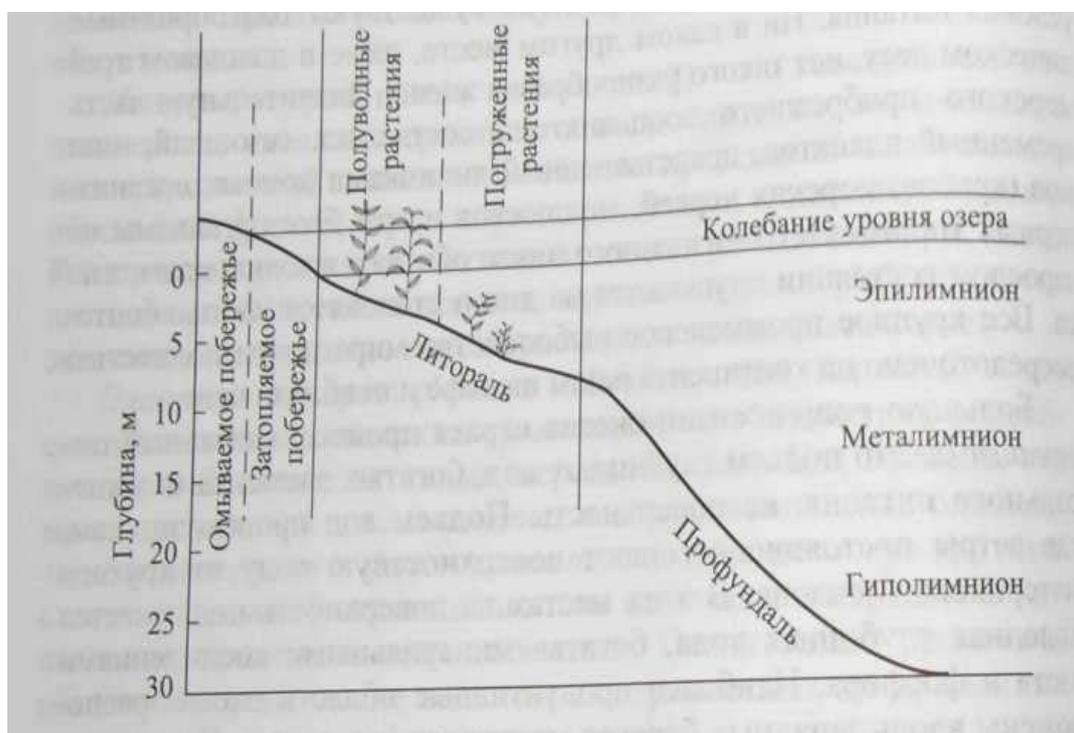


Рис. 8.2. Основные экологические зоны озера

В водной массе (пелагиали) как среде обитания организмов (летом и зимой) по вертикали может быть выделено три слоя: эпи-, мета- и гиполимнион (рис. 8.2). Воды поверхностного слоя - *эпилимниона* (до глубин 5...8 м) летом хорошо прогреваются (до 20 °С) и интенсивно перемешиваются под воздействием ветра. В связи с хорошей освещенностью и присутствием в воде минеральных солей в этом слое в массовом количестве развиваются одноклеточные водоросли (основные продуценты органического вещества в пелагиали). *Металимнион* характеризуется резким перепадом температур с увеличением глубины, так как представля-

ет собой переходную область между различно нагретыми водами эпи- и гипolimниона. В *гиполимнионе* (обычно глубже 14...20 м) воды беднее кислородом, температура летом не превышает 5...10 °С. Растительные организмы в этой зоне отсутствуют и фотосинтез не происходит.

Температурный режим в воде характеризуется, во-первых, меньшим притоком тепла, во-вторых, большей стабильностью, чем в наземно-воздушной среде. Часть тепловой энергии, поступающей на поверхность воды, отражается, часть расходуется на испарение воды. Испарение воды с поверхности водоемов препятствует перегреванию нижних слоев, а образование льда замедляет их охлаждение. Изменение температуры в текущих водах следует за ее изменениями в окружающем воздухе, отличаясь меньшей амплитудой.

В озерах и прудах умеренных широт температурный режим определяется хорошо известным физическим явлением, вода обладает максимальной плотностью при температуре 4 °С. Летом более теплые верхние слои в озере временно изолируются от охлажденных глубинных вод зоной термоклина (металимнион), которая служит преградой для обмена различными веществами. Данный вид полойного распределения температур в водоеме носит название *прямой стратификации* (рис. 8.3, а). Вследствие этого запасы кислорода в гиполимнионе и биогенных элементов в эпилимнионе в этот период года истощаются.

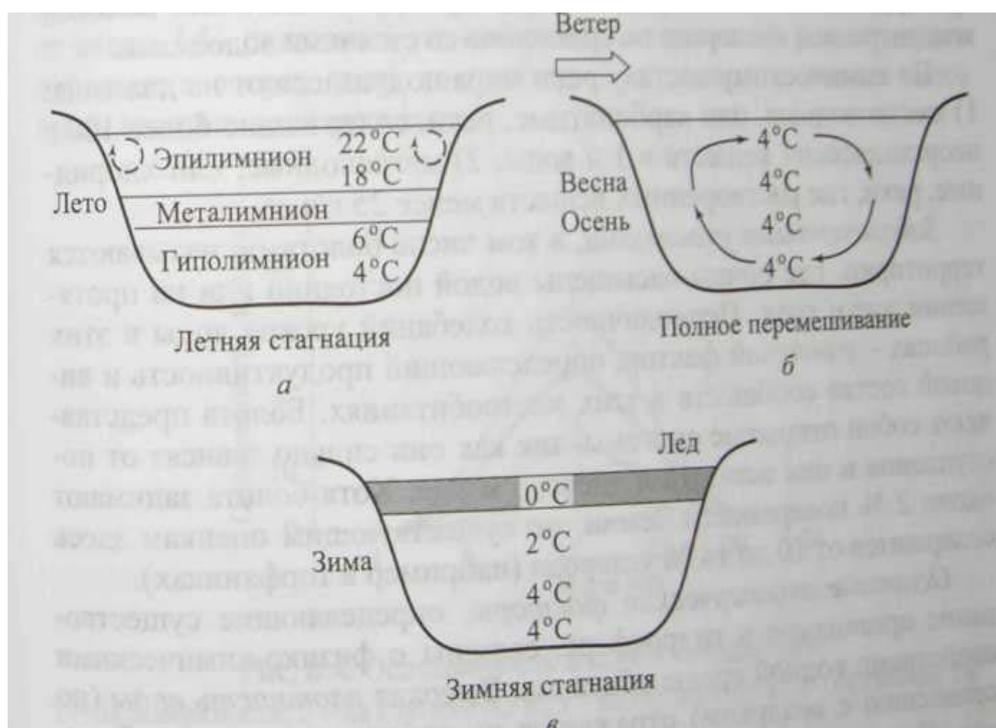


Рис. 8.3. Стратификация и перемешивание воды в озере

Зимой, с понижением температуры, происходит *обратная стратификация* (рис. 8.3, в). Поверхностный слой воды имеет температуру, близкую к 0 °С. На дне температура около 4 С, что соответствует ее максимальной плотности. Таким образом, с увеличением глубины температура повышается. В результате нарушается вертикальная циркуляция воды, образуется плотная стратификация воды, наступает период временного застоя - *стагнация*.

Весной и осенью (т. е. два раза в год) когда температура всей водной массы выравнивается, происходит перемешивание воды (рис. 8.3, б). При этом биогенные элементы попадают в верхние слои из гипolimниона. Это создает оптимальные условия для интенсивного развития фитопланктона и образования большого количества органического вещества, являющегося пищей для других гидробионтов (животных, бактерий). В странах с теплым климатом перемешивание воды происходит только один раз в год (зимой) в тропиках процесс перемешивания происходит постепенно или нерегулярно.

Основные особенности *текучих вод (рек)* как среды обитания организмов определяются наличием течений, являющихся важным контролирующим и лимитирующим фактором, а также более высокой концентрацией кислорода по сравнению со стоячими водоемами.

По химическому составу реки мира подразделяют на два типа: 1) жестководные, или карбонатные, реки, содержащие более 100 г неорганических веществ в 1 л воды; 2) мягководные, или хлоридные, реки, где растворенных веществ менее 25 г/л.

Заболоченными участками, в том числе болотами, называются территории, где почвы насыщены водой постоянно или на протяжении части года.

Периодичность колебаний уровня воды в этих районах - ключевой фактор, определяющий продуктивность и видовой состав сообществ в этих местообитаниях. Болота представляют собой открытые системы, так как они сильно зависят от поступления в них веществ и энергии извне. Хотя болота занимают около 2 % поверхности Земли, по существующим оценкам здесь содержится от 10 до 14 % углерода (например, в торфяниках).

Основные экологические факторы, определяющие существование организмов в гидросфере, связаны с физико-химическими свойствами водной среды оби-

тания. Высокая *плотность воды* (по сравнению с воздухом) отражается на строении тела гидробионтов. Плотность воды обеспечивает возможность животным организмам опираться на нее, что особенно важно для бесскелеточных форм. У многих планктонных организмов выработались приспособления, облегчающие парение в воде: уменьшение удельной плотности тела (газовые и жировые включения, студенистые ткани, полый скелет), увеличение его удельной поверхности (различные выросты, уплощения тела).

Организмы в водной среде распределены по всей ее толще. Например, в океанических впадинах животные обнаружены на глубинах свыше 10 000 м с давлением до 10^8 Па (несколько сотен атмосфер). Даже пресноводные обитатели водоемов (жуки-плавунцы, простейшие - инфузории-туфельки и др.) в опытах выдерживают повышение давления до $6 \cdot 10^7$ Па (600 атм.).

Вместе с тем следует отметить, что многие обитатели морей и океанов относительно стенобатны, т. е. обитают на определенных глубинах. В первую очередь это относится к мелководным и глубоководным видам.

На водные организмы большое влияние оказывают *световой режим* и прозрачность воды. Интенсивность света в воде сильно ослаблена (рис. 8.4), так как одна часть падающей радиации отражается от поверхности воды, другая поглощается ее толщей. Поглощение света связано с прозрачностью воды. В океанах, где вода обладает большой прозрачностью, на глубину 140 м еще проникает около 1 % падающей на поверхность солнечной радиации, а в небольших озерах даже на глубину 2 м попадают иногда всего лишь десятые доли процента.

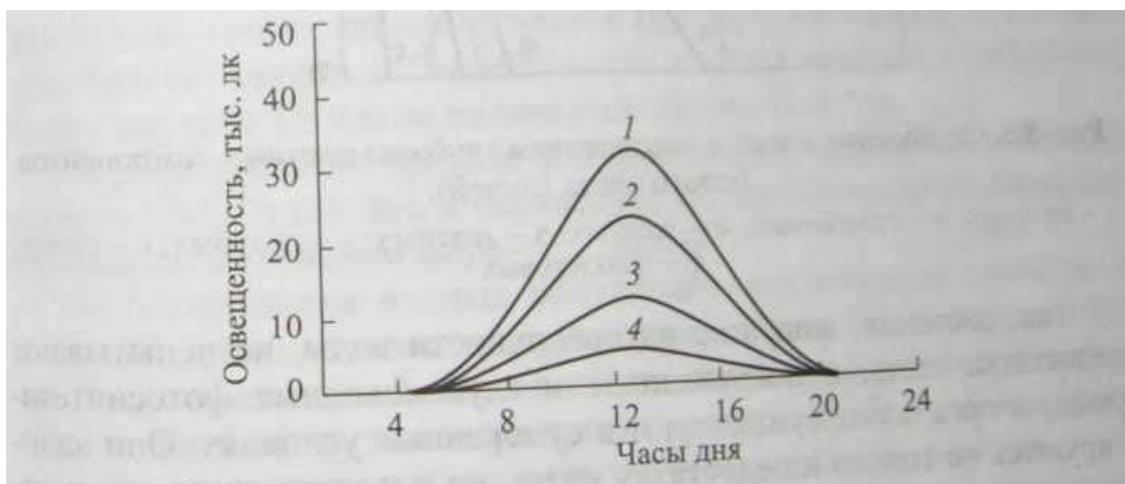


Рис. 8.4. Освещенность в воде в течение дня:

1 - на поверхности; 2 - на глубине 0,5 м; 3 - на глубине 1,5 м; 4 - на глубине 2 м.

Поглощение света в воде тем сильнее, чем меньше ее прозрачность, которая обусловлена наличием взвешенных минеральных и органических частиц. Соответственно и границы зон фотосинтеза сильно колеблются в разных водоемах.

В связи с тем, что лучи разных участков солнечного спектра неодинаково поглощаются водой, с глубиной изменяется и спектральный состав света, причем в первую очередь ослабляются красные лучи, необходимые для фотосинтеза (рис. 8.5). Сине-зеленые лучи проникают на значительные глубины. Живые организмы по-разному адаптированы к условиям освещенности и спектральному составу на разных глубинах водной толщи. В соответствии с изменением световых условий с увеличением глубины меняется состав биологических сообществ.

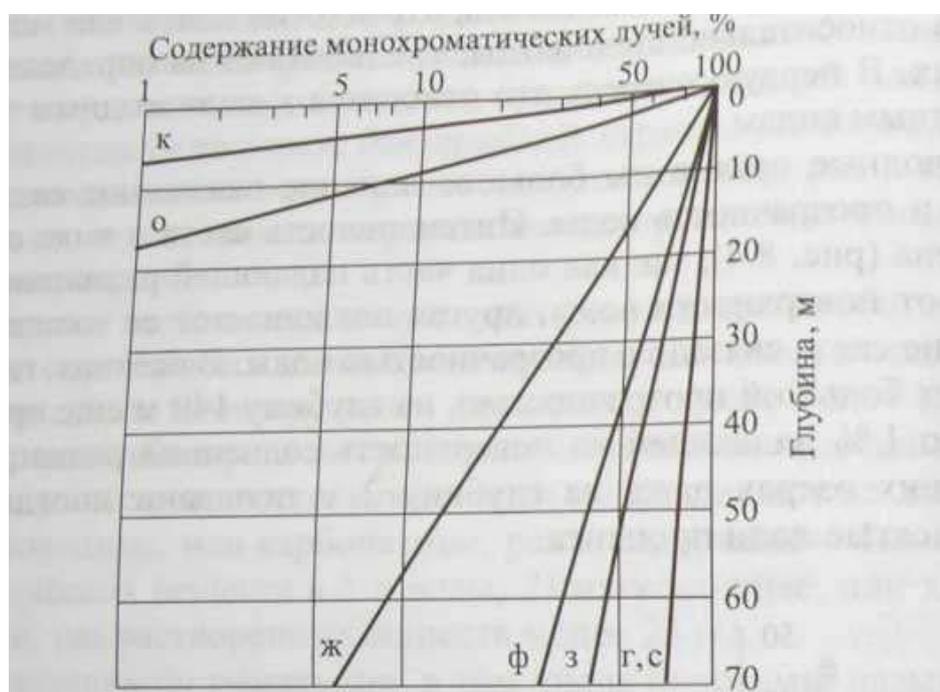


Рис. 8.5. Ослабление в воде с увеличением глубины цветных компонентов белого света (лучей):

к - красных; о - оранжевых; ж - желтых; з - зеленых; г - голубых; с - синих;
ф – фиолетовых

Так, растения, живущие на поверхности воды, не испытывают недостатка света, а погруженные и глубоководные фотосинтезирующие организмы существуют в сумеречных условиях. Они адаптируются не только к недостатку света, но и к изменению его спектрального состава благодаря выработке дополнительных пигментов. Это проявляется в изменении окраски водорослей, обитающих на разных глубинах. В мелководных зонах, где растениям еще доступны красные лучи,

которые в наибольшей степени поглощаются хлорофиллом (пигмент зеленого цвета), как правило, преобладают зеленые водоросли. В более глубоких зонах встречаются бурые водоросли, имеющие кроме хлорофилла бурые пигменты фикофеин, фукоксантин и др. Еще глубже обитают красные водоросли, содержащие пигмент фикоэритрин. Названные дополнительные пигменты улавливают энергию лучей, проникающих на глубину и передают ее основному фотосинтезирующему пигменту – хлорофиллу. Это явление получило название *хроматической адаптации*.

Световой день, особенно в глубоких слоях воды, значительно короче, чем на суше. Количество света в верхних слоях водоемов меняется в зависимости от географической широты местности и от времени года. Так, из-за длинных полярных ночей значительно ограничивается время пригодное для фотосинтеза в арктических и антарктических бассейнах, а ледовый покров затрудняет доступ света зимой во все замерзающие водоемы.

В жизни водных организмов важную роль играет соленость воды, или *солевой режим*. Химический состав воды формируется под влиянием естественно-исторических и геологических условий. Содержание химических соединений (солей) в воде определяет ее соленость и выражается в граммах на литр или в *промилле* (‰). По общей минерализации воды можно разделить на пресные с содержанием солей до 1 г/л, солоноватые (1...25 г/л), морской солености (26...50 г/л) и рассолы (более 50 г/л). Наиболее важными из растворенных в воде веществ являются карбонаты, сульфаты и хлориды.

Важный элемент в пресных водах - кальций, который может выступать в роли лимитирующего фактора. Различают воды мягкие, бедные кальцием (менее 9 мг/л), и воды жесткие, содержащие этот элемент в большом количестве (более 25 мг/л).

В морской воде среднее содержание растворенных солей составляет 35 г/л (35 ‰), в окраинных морях значительно ниже (например, в Балтийском море - 3...10 ‰).

У большинства водных обитателей осмотическое давление в теле зависит от солености окружающей среды. Пресноводные животные и растения обитают в среде, где концентрация растворенных веществ ниже, чем в жидкостях тела и

тканей. Из-за разницы в осмотическом давлении вне и внутри тела в организм постоянно проникает вода, вследствие чего гидробионты пресных вод вынужден интенсивно удалять ее. Поэтому у них хорошо выражены процессы *осморегуляции*. Некоторые инфузории каждые 2....2,5 мин выделяют количество воды, равное объему тела.

Концентрация солей в жидкостях тела и тканей многих морских организмов равна концентрации солей, растворенных в окружающей воде. В связи с этим осморегуляторные функции у них развиты слабее, чем у пресноводных. Осморегуляция - одна из причин того, что многие морские растения и животные не сумели заселить пресные водоемы и оказались типичными морскими жителями, как, например, кишечно-полостные (медузы, актинии, кораллы), иглокожие (морские звезды, ежи) гудки и др. С другой стороны, в морях и океанах почти не обитают насекомые, тогда как пресноводные бассейны обильно ими заселены. Типично морские и типично пресноводные организмы не переносят значительных изменений солености и являются *стеногалинными*, т.е. приспособленными к узким пределам солености воды.

Эвригалинных организмов (способных обитать в водоемах с разным уровнем солености), в частности животных пресноводного и морского происхождения, не так много. Они встречаются, нередко в больших количествах, в солоноватых водах. К ним относятся, например, лещи, пресноводные судаки, щуки, из морских рыб - семейство кефалевых.

Газовый режим водной среды определяется содержанием кислорода и углекислого газа. Кислород для водной среды - важнейший экологический фактор. Он поступает в воду из воздуха и выделяется растениями при фотосинтезе. С повышением температуры и солености воды концентрация кислорода понижается. В слоях, сильно заселенных животными и бактериями, может создаваться дефицит кислорода из-за усиленного его потребления. Поэтому около дна водоемов условия могут быть близкими к анаэробным (бескислородным).

В условиях низкой скорости обмена глубинных и поверхностных вод большие водоемы также значительно обедняются кислородом. Дефицит его может возникнуть и зимой подо льдом. Содержание кислорода в воде оказывается лимитирующим фактором.

Среди водных обитателей существует большое количество видов, способных переносить широкие колебания содержания кислорода в воде, вплоть до почти полного его исчезновения. Это *эвриоксибиониты*, к которым относятся пресноводные черви олигохеты, брюхоногие моллюски, рыбы (сазан, линь, карась). В некоторых морях существуют бескислородные зоны. Например, в Черном море на глубине 300 м и до самого дна находится бескислородная сероводородная зона, основными обитателями которой являются сероводородные бактерии.

В водной среде помимо недостатка света и кислорода растительные организмы могут испытывать и недостаток доступного углекислого газа (CO_2), необходимого для процесса фотосинтеза. Углекислый газ поступает в воду в результате растворения атмосферного CO_2 , дыхания водных организмов, разложения органических остатков и высвобождения из карбонатов. Углекислый газ растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода. Морская вода - главный резервуар углекислого газа на Земле. Его содержание в морской воде в 150 раз, выше, чем в атмосфере.

При интенсивном фотосинтезе растений усиленное потребление углекислого газа приводит его дефициту в водной толще, что вызывает снижение скорости фотосинтеза.

Особенности адаптации организмов к водной среде. Вода - стабильная среда, в которой многие абиотические факторы (температура, соленость и др.) варьируют незначительно, поэтому водные организмы обычно обладают меньшей экологической пластичностью, чем наземные. Пресноводные растения и животные более пластичны, чем морские, поскольку пресная вода как среда жизни более изменчива. Например, установлено, что прибрежные растения и животные в отличие от обитателей открытых зон являются главным образом эвритермными и эвригалинными организмами вследствие того, что температурные условия и солевой режим вблизи берега довольно изменчивы. Обитатели поверхностных слоев воды по сравнению с глубоководными формами по указанным причинам также оказываются эвритермными и эвригалинными.

Экологическая пластичность - важный регулятор расселения организмов, зависящий от возраста и фазы развития организма. Например, во взрослом состоянии морской брюхоногий моллюск *Littorina* при ежедневных отливах дли-

тельное время обходится без воды, и в то же время его личинки ведут планктонный образ жизни и не переносят высыхания.

Водные растения значительно отличаются от наземных растительных организмов. Так, способность водных растений поглощать влагу и минеральные соли непосредственно из окружающей среды отражается на их морфологической и физиологической организации (отсутствие корней, поглощение воды всей поверхностью).

Важная особенность адаптации растений к обитанию в водной среде заключается и в том, что листья, погруженные в воду, как правило, очень тонкие. Часто хлорофилл в них располагается в клетках эпидермиса, что способствует усилению интенсивности фотосинтеза при слабом освещении.

Животные, обитающие в водной среде, по сравнению с растениями характеризуются более разнообразными адаптивными особенностями: *анатомо-морфологическими, поведенческими, физиологическими* и др. Обитатели толщи воды обладают приспособлениями, которые увеличивают их плавучесть и позволяют противостоять движению воды, течениям. Донные же организмы вырабатывают приспособления, которые препятствуют поднятию их в толщу воды или уменьшают плавучесть, что позволяет удержаться на дне в быстро текущих водах.

Только в водной среде встречаются неподвижные, ведущие прикрепленный образ жизни животные: гидроиды, коралловые полипы, морские лилии, двустворчатые моллюски и др. Для них характерны своеобразная форма тела, незначительная плавучесть и специальные приспособления для прикрепления к твердому основанию – ко дну, телу других организмов. Эти животные захватывают взвешенные в воде частицы, которые переносятся течениями.

Целый ряд гидробионтов обладает особым характером питания - это отцеживание или осаждение взвешенных в воде частиц органического происхождения, многочисленных мелких организмов. Такой способ питания (фильтрация) не требует больших затрат энергии на поиски добычи и характерен для двустворчатых моллюсков, планктонных рачков и др. Животные - фильтраторы играют важную роль в биологической очистке водоемов.

Смена условий в водной среде вызывает и определенные поведенческие реакции организмов. С изменением освещенности, температуры, солености, газовой

го режима и других факторов связаны вертикальные (опускание вглубь, поднятие к поверхности) и горизонтальные (нерестовые, зимовальные и нагульные) миграции животных. В морях и океанах в вертикальных миграциях принимают участие миллионы тонн гидробионтов, а при горизонтальных миграциях водные животные могут преодолевать сотни и тысячи километров.

На Земле существует много временных, неглубоких водоемов, возникающих после разлива рек, сильных дождей, таяния снега и т. д. Общей для обитателей таких водоемов является способность давать за короткие сроки многочисленное потомство и переносить длительные периоды без воды, переходя в состояние пониженной жизнедеятельности - *гипобиоза*.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем особенность гидросферы как среды жизни?
2. Назовите экологические факторы, наиболее важные для организмов, обитающих в гидросфере.
3. Объясните, с чем связана экологическая зональность водоемов.
4. В чем проявляется адаптация организмов к водной среде?

9. НАЗЕМНО-ВОЗДУШНАЯ, ПОЧВЕННАЯ И ОРГАНИЗМЕННАЯ СРЕДЫ ЖИЗНИ

Наземно-воздушная среда жизни - самая сложная по разнообразию экологических условий и их распределению в пространстве. Для наземно-воздушной среды, характерны: большие колебания температуры (годовые амплитуды до 100 °С), высокая подвижность атмосферы, разнообразные режимы влажности. Лимитирующими факторами в этой среде чаще всего являются недостаток или избыток тепла и влаги (табл. 9.1). В отдельных случаях, например под пологом леса, существование жизни ограничивается недостатком света.

Таблица 9.1

Сравнение основных экологических факторов, играющих лимитирующую роль в наземно-воздушной и водной средах

Экологические факторы	Наземно-воздушная среда	Водная среда
Вода	Часто в дефиците	Всегда в избытке
Плотность среды	Низкие значения	Высокие значения
Давление	Низкие значения (с незначительными колебаниями)	Сильно варьирует (возрастает с увеличением глубины и может достигать 1000 атм)
Температура	Сильно варьирует (от -80 до +100 °С и более)	Варьирует в меньшей степени, чем в наземно-воздушной среде (от -2 до +40°С)
Кислород	Всегда в избытке	Часто в дефиците
Углекислый газ	То же	То же

Составлено по: Степановских А.С.. Указ. соч. С. 176.

Большие колебания температуры во времени и пространстве, а также хорошая обеспеченность кислородом обусловили появление организмов с постоянной температурой тела (теплокровных). Для поддержания стабильности внутренней

среды теплокровных организмов, населяющих наземно-воздушную среду (*наземные организмы*), требуются повышенные энергетические затраты.

Жизнь в наземной среде возможна лишь при высоком уровне организации растений и животных, адаптированных к специфическим влияниям важнейших экологических факторов этой среды.

В наземно-воздушной среде действующие экологические факторы имеют ряд характерных особенностей: более высокая интенсивность света в сравнении с другими средами, значительные колебания температуры и влажности в зависимости от географического положения, сезона и времени суток.

Рассмотрим общую характеристику наземно-воздушной среды обитания.

Для *газообразной среды обитания* характерны низкие значения влажности, плотности и давления, высокое содержание кислорода, что определяет особенности дыхания, водообмена, передвижения и образа жизни организмов. Свойства воздушной среды влияют на строение тел наземных животных и растений, их физиологические и поведенческие особенности, а также усиливают или ослабляют действие других экологических факторов.

Газовый состав воздуха отличается относительно большим постоянством (кислород - 21 %, азот - 78 %, углекислый газ - 0,03 %) как на протяжении суток, так и в разные периоды года. Это обусловлено интенсивным перемешиванием слоев атмосферы.

Высокое содержание кислорода способствует высокой скорости обмена веществ у наземных организмов. Для абсолютного большинства организмов кислород жизненно необходим. Ввиду постоянно высокого содержания кислорода в воздухе он не является лимитирующим фактором в наземной среде.

Поглощение кислорода организмами из внешней среды происходит всей поверхностью тела (у простейших, червей) или специальными органами дыхания - трахеями (у насекомых), легкими (у позвоночных). У организмов, живущих в условиях постоянного недостатка кислорода, имеются соответствующие приспособления: повышенная кислородная емкость крови, более частые и глубокие дыхательные движения, большой объем легких (у обитателей высокогорья, птиц).

Одна из важнейших и преобладающих форм первостепенного биогенного элемента углерода в природе - углекислый газ (диоксид углерода). Припочвенные

слои атмосферы обычно более богаты углекислым газом, чем ее слои на уровне крон деревьев, и это в определенной мере компенсирует недостаток света для мелких растений, живущих под пологом леса.

Углекислый газ поступает в атмосферу главным образом в результате естественных процессов (дыхание животных и растений. Процессы горения, извержении вулканов, деятельность почвенных микроорганизмов и грибов) и хозяйственной деятельности человека (сжигание горючих веществ в области теплоэнергетики, на промышленных предприятиях и на транспорте). Количество углекислого газа в атмосфере изменяется в течение суток и по сезонам. Суточные изменения связаны с ритмом фотосинтеза растений, а сезонные - с интенсивностью дыхания организмов, преимущественно почвенных микроорганизмов.

Низкая плотность воздуха обуславливает малую подъемную силу, в связи с чем наземные организмы имеют ограниченные размеры и массу и обладают собственной опорной системой, поддерживающей тело. У растений это разнообразные механические ткани, а у животных - твердый или (реже) гидростатический скелет. Многие виды наземных организмов (насекомые и птицы) приспособились к полету. Однако для подавляющего большинства организмов (за исключением микроорганизмов) пребывание в воздухе связано только с расселением или поиском пищи.

С плотностью воздуха также связано сравнительно низкое давление на суше. Наземно-воздушная среда обладает низким атмосферным давлением и низкой плотностью воздуха, поэтому большинство активно летающих насекомых и птиц занимают нижнюю зону - 0...1000 м. Однако отдельные обитатели воздушной среды могут постоянно жить и на высотах 4000...5000 м (орлы, кондоры).

Подвижность воздушных масс способствует быстрому перемешиванию атмосферы и равномерному распределению различных газов, например кислорода и углекислого газа, вдоль поверхности Земли. В нижних слоях атмосферы постоянно происходят вертикальные (восходящие и нисходящие) и горизонтальные *перемещения воздушных масс* различной силы и направления. Благодаря такой подвижности воздуха возможен пассивный полет ряда организмов: спор, пыльцы, семян и плодов растений, мелких насекомых, пауков и т. п.

Световой режим создается суммарной солнечной радиацией, достигающей земной поверхности. От световых условий конкретного местообитания зависят морфологические, физиологические и другие признаки наземных организмов.

Световые условия практически везде в наземно-воздушной среде благоприятны для организмов. Главную роль играет не само по себе освещение, а суммарная величина солнечной радиации. В тропическом поясе суммарная радиация в течение года постоянна, но в умеренных широтах длина светового дня и интенсивность солнечной радиации зависят от времени года. Большое значение имеют также прозрачность атмосферы и угол падения солнечных лучей. Из поступающей фотосинтетически активной радиации 6-10% отражается от поверхности различных насаждений (рис. 9.1). Цифрами на рисунке обозначена относительная величина солнечной радиации в процентах от суммарной величины на верхней границе растительного сообщества. При разных погодных условиях до поверхности Земли доходит 40...70 % солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы. Деревья, кустарники, посевы растений затеняют местность, создают особый микроклимат, ослабляя солнечную радиацию.

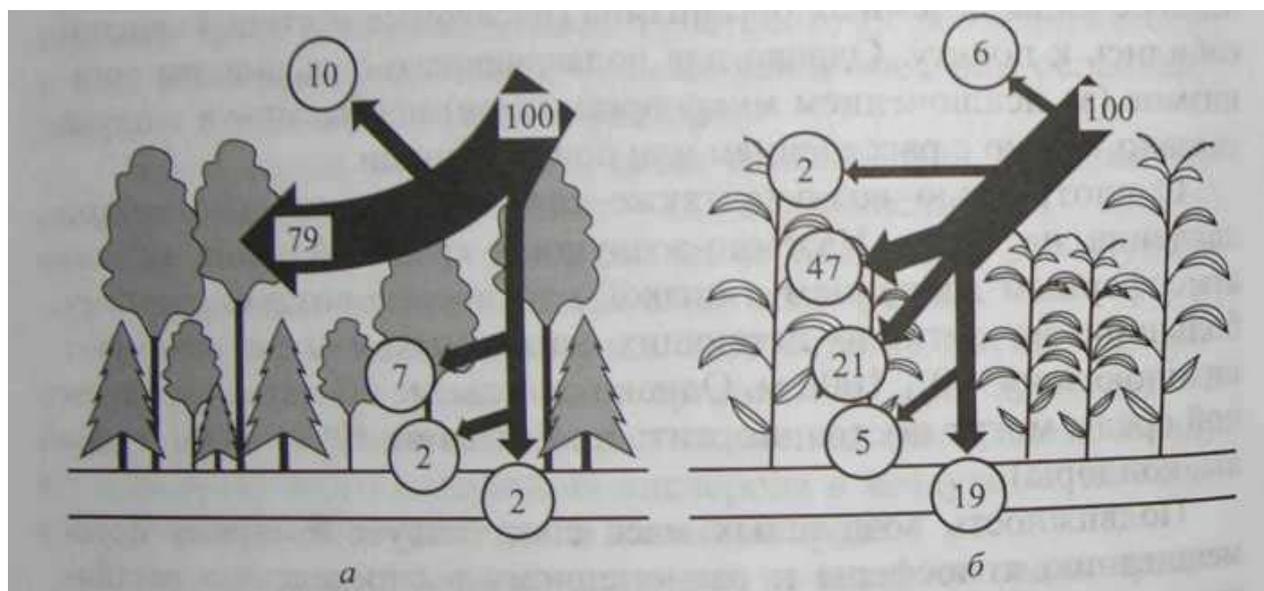


Рис. 9.1. Ослабление солнечной радиации (%):

а - в редком сосновом лесу; б - в посевах кукурузы

У растений наблюдается непосредственная зависимость от интенсивности светового режима: они растут, где позволяют климатические и почвенные условия, приспособляясь к световым условиям данного место обитания. Все растения по отношению к уровню освещенности делятся на три группы: светолюбивые,

тенелюбивые и теневыносливые. Светлюбивые и тенелюбивые растения различаются по величине экологического оптитимума освещенности (рис. 9.2).

Светлюбивые растения - растения открытых, постоянно освещаемых местообитаний, оптимум жизнедеятельности которых наблюдается в условиях, полного солнечного освещения (степные и луговые злаки, растения тундр и высокогорий, прибрежные растения, большинство культурных растений открытого грунта, многие сорняки).

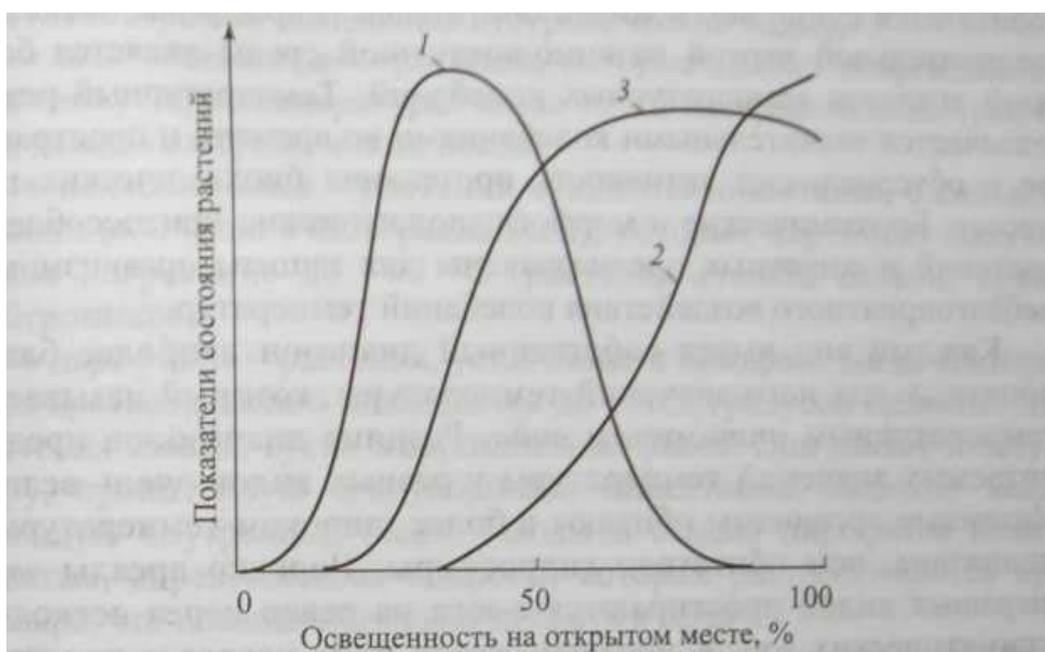


Рис. 9.2. Экологические оптимумы отношения к свету растений трех видов: 1 - тенелюбивого; 2 - светлюбивого; 3 - теневыносливого

Тенелюбивые растения - растения, произрастающие только в условиях сильного затенения, которые в условиях сильной освещенности не растут. В процессе эволюции эта группа растений адаптировалась к условиям, свойственным нижним затененным ярусам сложных растительных сообществ - темнохвойных и широколиственных лесов, влажных тропических лесов и т.п. Тенелюбивость этих растений обычно сочетается с высокой потребностью в воде.

Теневыносливые растения лучше растут и развиваются при полной освещенности, однако способны адаптироваться и к условиям разного уровня затемнения.

У представителей животного мира отсутствует непосредственная зависимость от светового фактора, которая наблюдается у растений. Тем не менее свет в жизни животных играет большую роль при зрительной ориентации в пространстве.

Мощным фактором, регулирующим жизненный цикл ряда животных, служит длина светового дня (фотопериод). Реакция на фотопериод синхронизирует активность организмов с временами года. Например, многие млекопитающие начинают готовиться к зимней спячке задолго до наступления холодов, а перелетные птицы улетают на юг уже и в конце лета.

Температурный режим играет гораздо большую роль в жизни обитателей суши, чем в жизни обитателей гидросферы, поскольку отличительной чертой наземно-воздушной среды является большой диапазон температурных колебаний. Температурный режим отличается значительными колебаниями во времени и пространстве и обуславливает активность протекания биохимических процессов. Биохимические и морфофизиологические приспособления растений и животных предназначены для защиты организмов от неблагоприятного воздействия колебаний температур.

Каждый вид имеет собственный диапазон наиболее благоприятных для него значений температуры, который называется температурным *оптимумом вида*. Разница диапазонов предпочитаемых значений температуры у разных видов очень велика. Наземные организмы обитают в более широком температурном диапазоне, чем обитатели гидросферы. Нередко ареалы *эвритермных* видов простираются с юга на север через несколько климатических зон. К примеру, серая жаба населяет пространство от Северной Африки до Северной Европы. К эвритермным животным относятся многие насекомые, земноводные, а из млекопитающих - лисица, волк, пума и др.

Длительно покоящиеся (*латентные*) формы организмов, такие, как споры некоторых бактерий, споры и семена растений, способны выдерживать значительно отклоняющиеся от нормы значения температур. Попадая в благоприятные условия и достаточную питательную среду, эти клетки могут вновь стать активными и начать размножаться. Приостановка всех жизненных процессов организма носит название *анабиоза*. Из состояния анабиоза организмы могут возвратиться к нормальной активности в том случае, если не нарушена структура макромолекул в их клетках.

Температура непосредственно влияет на рост и развитие растений. Являясь организмами неподвижными, растения должны существовать при том темпера-

турном режиме, который создается в местах их произрастания. По степени адаптации к температурным условиям все виды растений можно разделить на следующие группы:

- *морозоустойчивые* - растения, произрастающие в областях с сезонным климатом, с холодными зимами. Во время сильных морозов надземные части деревьев и кустарников промерзают, но сохраняют жизнеспособность, накапливая в своих клетках и тканях вещества, которые связывают воду (различные сахара, спирты некоторые аминокислоты);

- *неморозостойкие* - растения, переносящие низкие температуры, но гибнущие как только в тканях начинает образовываться лед (некоторые вечнозеленые субтропические виды);

- *нехолодостойкие* - растения, которые сильно повреждаются или гибнут при температурах выше точки замерзания воды (растения дождевых тропических лесов);

- *теплолюбивые* - растения сухих местообитаний с сильной инсоляцией (солнечной радиацией), которые переносят получасовое нагревание до +60 °С (растения степей, саванн, сухих субтропиков);

- *пирофиты* - растения, устойчивые к пожарам, когда температура временно повышается до сотен градусов Цельсия. Это растения саванн, сухих жестколистных лесов. Они имеют толстую кору, пропитанную огнеупорными веществами, надежно защищающую внутренние ткани. Плоды и семена пирофитов имеют толстые, одревесневшие покровы, которые растрескиваются при пожаре, что помогает семенам попасть в почву.

По сравнению с растениями животные обладают более разнообразными возможностями регулировать (постоянно или временно) температуру собственного тела. Одно из важных приспособлений животных (млекопитающих и птиц) к температурным колебаниям - это способность к терморегуляции организма, их теплокровность, благодаря чему высшие животные относительно независимы от температурных условий окружающей среды.

В мире животных наблюдается связь размеров и пропорции тела организмов с климатическими условиями их обитания. В пределах вида или однородной группы близких видов животные с более крупными размерами тела распростра-

нены в более холодных областях. Чем крупнее животное, тем легче ему поддерживать постоянную температуру. Так, среди представителей пингвинов самый мелкий пингвин - пингвин галапагосский - обитает в экваториальных районах, а самый крупный - пингвин императорский - в материковой зоне Антарктиды.

Влажность становится важным лимитирующим фактором на суше, так как дефицит влаги - одна из наиболее существенных особенностей наземно-воздушной среды. Наземные организмы постоянно сталкиваются с проблемой потери воды и нуждаются в ее периодическом поступлении. В процессе эволюции наземных организмов вырабатывались характерные приспособления к добыванию и сохранению влаги.

Режим влажности характеризуют осадки, влажность почвы и воздуха. Дефицит влаги - одна из наиболее существенных особенностей наземно-воздушной среды жизни. С экологической точки зрения вода служит лимитирующим фактором в наземных местообитаниях, так как ее количество подвержено сильным колебаниям. Режимы влажности среды на суше разнообразны: от полного и постоянного насыщения воздуха водяными парами (тропический пояс) до практически полного отсутствия влаги в сухом воздухе пустынь.

Главным источником воды для растительных организмов служит почва.

Помимо поглощения почвенной влаги корнями растения также способны поглощать воду, выпадающую в виде небольших дождей, туманов, парообразную влагу воздуха.

Большую часть поглощенной воды растительные организмы теряют в результате транспирации, т. е. испарения воды с поверхности растений. Растения защищаются от обезвоживания, либо запасая воду и препятствуя испарению (кактусы), либо увеличивая долю подземных частей (корневых систем) в общем объеме растительного организма. По степени адаптации к тем или иным условиям влажности все растения подразделяются на группы:

- *гидрофиты* - наземно-водные растения, произрастающие и свободно плавающие в водной среде (тростник по берегам водоемов, калужница болотная и другие растения на болотах);

- *гигрофиты* - наземные растения в районах с постоянно высокой влажностью (обитатели тропических лесов - эпифитные папоротники, орхидеи и др.)

- *ксерофиты* - наземные растения, приспособившиеся к значительным сезонным колебаниям содержания влаги в почве и воздухе (обитатели степей, полупустынь и пустынь - саксаул, верблюжья колючка);

- *мезофиты* - растения, занимающие промежуточное положение между гигрофитами и ксерофитами. Наиболее распространены мезофиты в умеренно влажных зонах (береза, рябина, многие луговые и лесные травы и др.).

Погодные и климатические особенности характеризуются суточными, сезонными и многолетними колебаниями температуры, влажности воздуха, облачности, осадков, силы и направления ветра и т.д. что определяет разнообразие условий жизни обитателей наземной среды. Климатические особенности зависят от географических условий района, однако часто более важен микроклимат непосредственного местообитания организмов.

В наземно-воздушной среде условия жизни осложняются существованием *погодных изменений*. Погода - это непрерывно меняющееся состояние нижних слоев атмосферы примерно до высоты 20 км (граница тропосферы). Изменчивость погоды - это постоянное изменение таких факторов среды, как температура и влажность воздуха, облачность, осадки, сила и направление ветра и т. д.

Многолетний режим погоды характеризует *климат местности*. В понятие климата входят не только среднемесячные и среднегодовые значения метеорологических параметров (температура воздуха, влажность, суммарная солнечная радиация и т. д.), но и закономерности их суточных, месячных и годовых изменений, а также их повторяемость. Основные климатические факторы - это температура и влажность. Следует отметить, что растительность оказывает значительное влияние на уровень значений климатических факторов. Так, под пологом леса влажность воздуха всегда выше, а колебания температуры меньше, чем на открытой местности. Различается и световой режим этих мест.

Почва служит твердой опорой для организмов, которую не может им обеспечить воздух. Кроме того, корневая система поставляет растениям водные растворы необходимых минеральных соединений из почвы. Важное значение для организмов имеют химические и физические свойства почвы.

Рельеф местности создает разнообразие условий жизни для наземных организмов, определяя микроклимат и ограничивая свободное перемещение организмов.

Влияние почвенно-климатических условий на организмы привело к образованию характерных природных зон - *биомов*. Так называют наиболее крупные наземные экосистемы, соответствующие основным климатическим зонам Земли. Особенности больших биомов определяются в первую очередь группировкой входящих в них растительных организмов. Каждой из физико-географических зон присущи определенные соотношения тепла и влаги, водный и световой режим, тип почв, группировки животных (фауна) и растений (флора). Географическое распределение биомов носит широтный характер и связано с изменением климатических факторов (температура и влажность) от экватора к полюсам. При этом наблюдается определенная симметрия в распределении различных биомов обоих полушарий. Основные биомы Земли: тропический лес, тропическая саванна, пустыня, степь умеренной зоны, листопадный лес умеренной зоны, хвойный лес (тайга), тундра, арктическая пустыня.

Почвенная среда жизни. Среди рассматриваемых нами четырех сред жизни почва выделяется тесной связью живого и неживого компонентов биосферы. Почва - это не только среда обитания организмов, но и продукт их жизнедеятельности. Можно считать, что почва возникла в результате совместного действия климатических факторов и организмов, особенно растений, на материнскую породу, т. е. на минеральные вещества верхнего слоя земной коры (песок, глину, камни и пр.).

Итак, почвой называют слой вещества, лежащий поверх горных пород, состоящий из исходного материала - подстилающего минерального субстрата - и органической добавки, в которой организмы и продукты их жизнедеятельности перемешаны с мелкими частицами измененного исходного материала. Структура и пористость почвы во многом определяют доступность питательных веществ растениям и почвенным животным.

В состав почвы входят четыре важных структурных компонента:

- минеральная основа (50...60 % общего состава почвы);
- органическое вещество (до 10 %);
- воздух (15...25%);
- вода (25...35%).

Органическое вещество почвы, которое образуется при разложении мертвых организмов или их частей (например, опавших листьев), называется *гумусом*, который образует верхний плодородный слой почвы. Важнейшее свойство почвы - плодородие - зависит от мощности гумусового слоя.

Каждому типу почв соответствуют определенный животный мир и определенная растительность. Совокупность почвенных организмов обеспечивает непрерывный круговорот веществ в почве, в том числе образование гумуса.

Почвенная среда обитания имеет свойства, сближающие ее с водной и наземно-воздушной средами. Как и в водной среде, в почвах невелики колебания температуры. Амплитуды ее значений быстро затухают с увеличением глубины. При избытке влаги или углекислоты повышается вероятность дефицита кислорода. Сходство с наземно-воздушной средой обитания проявляется через наличие пор, заполненных воздухом. К специфическим свойствам, присущим только почве, относится высокая плотность. Большую роль в образовании почвы играют организмы и продукты их жизнедеятельности. Почва наиболее насыщенная живыми организмами часть биосферы.

В почвенной среде лимитирующими факторами обычно являются недостаток тепла и недостаток или избыток влаги. Лимитирующими факторами могут быть также и недостаток кислорода или избыток углекислоты. Жизнь многих почвенных организмов тесно связана с их размерами. Одни свободно передвигаются в почве, другим необходимо разрыхлять ее для движения и поиска пищи.

Организмы как среда жизни. С этой средой обитания связан паразитический и полупаразитический образ жизни организмов. Паразитирующие организмы (вирусы, бактерии, простейшие, грибы, некоторые беспозвоночные) получают кондиционированную стабильную среду (по температуре, влажности и другим параметрам) и готовую легкоусвояемую пищу. В результате этого упрощаются все системы и органы, а некоторые из них утрачиваются. Наиболее слабое (лимитирующее) звено в жизни паразита - возможность потери «хозяина». По этой причине паразиты обычно не убивают своего «хозяина» и имеют приспособления, увеличивающие вероятность выживания в случае его потери. Основным путем сохранения вида в таких условиях - формирование большого числа зачатков в виде долго сохраняющихся спор.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем особенность наземно-воздушной среды как экологического пространства?
2. Какими приспособлениями для жизни на суше обладают организмы?
3. Назовите экологические факторы, наиболее значимые для наземных организмов.
4. Охарактеризуйте особенности почвенной среды обитания.

10. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

Живое вещество - наиболее активный компонент, принимающий участие во многих геохимических круговоротах химических элементов в биосфере. В процессе жизнедеятельности организмов различные химические элементы из биосферы избирательно поглощаются, накапливаются, трансформируются и выводятся во внешнюю среду. В результате таких многократно повторяющихся циклов все химические элементы входят то в состав органических веществ (живое вещество), то в состав неорганических веществ (неживое вещество).

Биогеохимические циклы (биогеохимические круговороты) - циклические процессы обмена веществ между различными компонентами биосферы, обусловленные жизнедеятельностью организмов.

Термин "биогеохимия» предложен русским ученым В.И. Вернадским и означает область науки об обмене веществ между живым и неживым веществом биосферы («био» относится к живым организмам, а "гео" - к горным породам, воздуху и воде). Геохимия изучает химический состав Земли и миграцию элементов между различными частями биосферы: литосферой, гидросферой и атмосферой.

Для нормального существования большинства экосистем и организмов, их населяющих, максимальное значение имеют круговороты таких элементов, как водород, углерод, азот, сера и фосфор, входящих в состав любого живого вещества.

В круговоротах любых химических элементов и веществ различают две части или два «фонда»:

1) *резервный фонд* - большая масса медленно движущихся в биогеохимическом цикле веществ;

2) *обменный (подвижный) фонд* - меньшая, но более активная масса вещества, для которого характерен быстрый обмен между живыми организмами и их непосредственным окружением.

В целом биогеохимические циклы обычно подразделяют на два основных типа:

1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океане); 2) осадочный цикл с резервным фондом и земной коре. Резервные фонды в атмосфере и гидросфере легко доступны, поэтому такие круговороты относительно устойчивы. Осадочные биогеохимические циклы, как правило, менее стабильны.

Удивительное постоянство процентного содержания различных химических элементов в компонентах экосистемы исторически обусловлено существованием непрерывных и сбалансированных круговоротов веществ, что создает возможность для саморегуляции (гомостаза) системы и поддержания ее устойчивости.

Процессы новообразования органического вещества в ходе фотосинтеза и процессы его разрушения (распада) определяют скорость и сбалансированность круговоротов элементов в биосфере и происходят только за счет поступающей извне солнечной энергии. Следовательно, скорость и направление циклического движения элементов в экосистеме определяются потоками энергии, проходящей через биологическое сообщество.

Обобщенная схема биогеохимических циклов в сочетании с упрощенной схемой потока энергии (рис. 10.1) показывает, как однонаправленный поток энергии приводит в движение круговорот вещества. Обращает на себя внимание тот факт, что химические элементы, вовлеченные в процесс круговорота, многократно проходят один и тот же путь, а энергия течет лишь в одну сторону.

На рис. 10.1 резервный фонд обозначен как фонд элементов питания, а обменный фонд представлен темным кольцом, идущим от автотрофов к гетеротрофам и от них снова к автотрофам. Иногда резервный фонд называют недоступным, а активный обменный фонд - доступным. Например, агрономы обычно измеряют плодородие почвы, оценивая концентрацию в почве тех форм элементов питания, которые непосредственно доступны для растений.

Обменный фонд образуется за счет веществ, которые возвращаются в круговорот двумя основными путями - либо в результате прижизненных выделений во внешнюю среду продуктов метаболизма животными и растениями, либо при разрушении (минерализации) мертвого органического вещества (детрита) микроорганизмами.

Влияние человека на биогеохимические круговороты заключается в том, что при антропогенном вмешательстве эти процессы могут перестать быть замкнутыми и в одних местах биосферы может возникнуть недостаток, а в других - избыток каких-либо веществ. В конечном счете меры по охране природных ресурсов должны быть направлены на предотвращение нарушений цикличности, т.е. сбалансированности круговоротов важнейших элементов в биосфере. Знание особенностей биогехимических циклов - необходимое условие рационального использования природных ресурсов и сохранения природных экосистем.

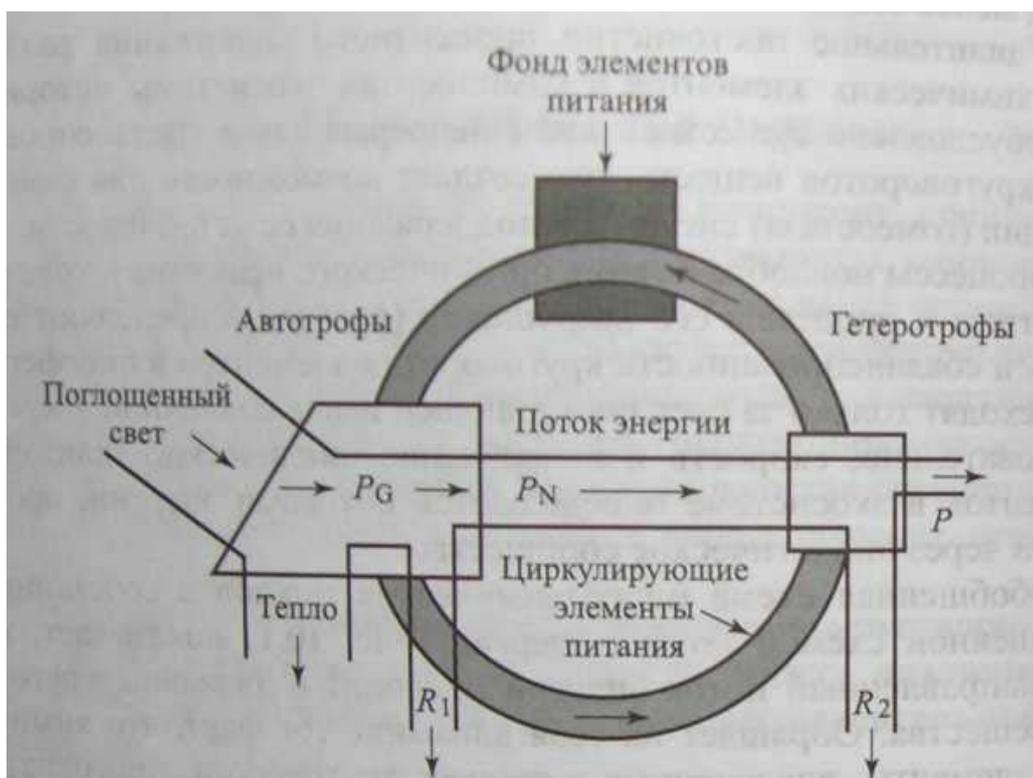


Рис. 10.1. Схема биогеохимического цикла на фоне упрощенной схемы потока энергии:

P_G - валовая первичная продукция; P_N - чистая первичная продукция (может быть потреблена гетерофами в самой системе или же экспортирована); P - вторичная продукция, R_1 -дыхание автотрофов (растений); R_2 - дыхание гетеротрофов (животных и бактерий)

Любую экосистему можно представить в виде ряда блоков, через которые проходят различные вещества. В круговоротах минеральных веществ в экосистеме, как правило, участвуют три активных блока: живые организмы, мертвый органический детрит, доступные неорганические вещества в среде обитания.

Рассмотрим биогеохимические циклы азота, фосфора и серы. Биогеохимический цикл азота (биогенного элемента, входящего в состав белков и нуклеиновых кислот) может служить примером очень сложного хорошо сбалансированного цикла газообразного вещества. Биогеохимический цикл фосфора - осадочный цикл с менее совершенной регуляцией круговорота фосфора.

Биогеохимический круговорот серы служит примером функциональной связи между атмосферой, водой и земной корой, так как сера активно циркулирует в каждом из этих «резервуаров» и между ними. В круговоротах азота и серы ключевую роль играют микроорганизмы.

Круговорот азота, включающий как газовую, так и минеральную фазу, несмотря на большое число участвующих в нем организмов, обеспечивает быструю циркуляцию азота в различных экосистемах (рис. 10.2).

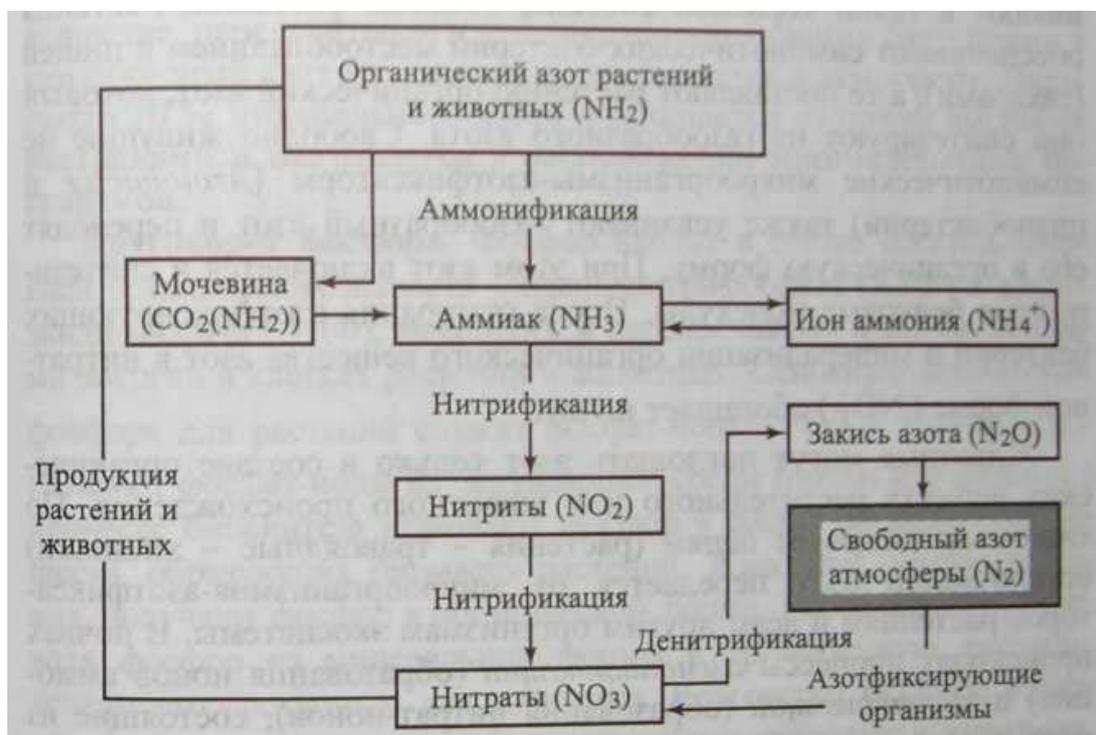


Рис. 10.2. Схема круговорота азота (серый прямоугольник – резервный фонд азота)

Основной источник и резервуар азота - атмосфера, масса которой на 79% состоит из этого элемента. Участие живых организмов в круговороте азота подчинено строгой иерархии: только определенные виды микроорганизмов (бактерий) осуществляют биохимические процессы трансформации соединения азота на отдельных ключевых этапах этого цикла.

Большинство организмов, обитающих в биосфере, непосредственно не может использовать газообразный молекулярный азот (N_2). Растения усваивают азот только в составе нитрат - ионов (NO_3^-) или ионов аммония (NH_4^+). Нитраты образуются в основном в результате жизнедеятельности микроорганизмов - *азотфиксаторов*, к которым относятся симбиотические бактерии рода *Rhizobium*, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений, бактерии рода *Azotobacter*, обитающие в почве; и цианобактерии (сине-зеленые). Все микроорганизмы - азотфиксаторы способны фиксировать атмосферный азот благодаря очень сложному обмену веществ, включающему в качестве катализаторов молибден и гемоглобин. Симбиотические микроорганизмы-азотфиксаторы проникают в ткани корневой системы бобовых растений. Растения обеспечивают симбиотических бактерий местообитанием и пищей (сахарами), а те поставляют растению органический азот, который они синтезируют из газообразного азота. Свободно живущие не симбиотические микроорганизмы - азотфиксаторы (*Azotobacter* в цианобактерии) также усваивают газообразный азот и переводят его в органическую форму. При этом азот включается в синтезируемые белковые молекулы. После отмирания азотфиксирующих бактерий и минерализации органического вещества азот в нитратной форме (NO_3^-) обогащает почву.

Животные могут поглощать азот только в составе органических веществ растительного или животного происхождения. По типичным пищевым цепям (растения - травоядные - хищники) органический азот передается от микроорганизмов - азотфиксаторов растениям и всем другим организмам экосистемы. В почвах происходят процессы *аммонификации* (образования ионов аммония) и *нитрификации* (образования нитрат - ионов), состоящие из ряда последовательных реакций, в ходе которых при участии разных групп микроорганизмов происходит разрушение мертвого органического вещества.

Молекулярный азот возвращается в атмосферу и биогеохимический цикл азота замыкается в процессе жизнедеятельности бактерий - *денитрификаторов* рода *Pseudomonas*, восстанавливающих нитраты до свободного азота и кислорода в бескислородных (анаэробных) условиях.

Нитраты постоянно образуются из молекулярного азота в небольших количествах без участия микроорганизмов-азотфиксаторов при электрических грозо-

вых разрядах в атмосфере. Затем эти нитраты выпадают с дождями на поверхность почвы. Еще одним источником поступления атмосферного азота в биогеохимический цикл - вулканы, компенсирующие потери азота, исключенного из круговорота при осаждении его на дно океанов.

Для того чтобы сопоставить масштабы различных процессов поступления атмосферного азота в биогеохимический цикл, необходимо иметь в виду следующее : среднегодовое поступление нитратного азота абиотического происхождения (грозовые разряды) из атмосферы в почву не превышает 10 кг/га, свободные микроорганизмы- азотофиксаторы вносят до 25 кг/га, в то время как симбиотические азотофиксирующие бактерии *Rhizobium* в среднем продуцируют до 200 кг/га.

Преобладающая часть азота, содержащегося в органическом веществе, перерабатывается денитрифицирующими бактериями в газообразный азот (N_2) и вновь возвращается в атмосферу. Лишь около 10% минерального азота поглощается из почвы высшими растениями и оказывается в распоряжении многоклеточных организмов.

Круговорот фосфора. Фосфор входит в состав богатых энергией органических веществ - аденозинтрифосфата (АТФ) и аденозиндифосфата (АДФ), являющихся переносчиками и аккумуляторами энергии в клетках растений и животных. Основным источником фосфора для растений служат фосфат-ионы (PO_4^-). Растения поглощают фосфат-ионы из окружающей среды (почвы или воды) и в процессе биосинтеза включают фосфор в состав органических веществ, образующих биомассу растений. Животные, поедая растения, получают фосфор в органической форме. Таким образом, переводя фосфор из минеральной формы в органическую, растения делают его доступным для животных. Круговорот фосфора в биосфере связан с процессами обмена веществ в растениях и животных. Этот важный биогенный элемент, содержание которого наземных частях растений и водорослях варьирует от 0.01 до 0,1%, а у животных от 0.1 % до нескольких процентов, в процессе циркуляции постепенно переходит из органических соединений в фосфаты, которые снова могут использоваться растениями (рис 10.3).



Рис. 10.3. Схема круговорота фосфора (серый прямоугольник - резервный фонд фосфора)

Если сравнить содержание фосфора в живом и неживом веществе биосферы, то окажется что диспропорция очень велика. Поэтому фосфор относится к числу наиболее дефицитных биогенных макроэлементов, определяющих развитие жизни.

Естественный биогеохимический круговорот фосфора в биосфере не сбалансирован. Основные запасы фосфора содержатся в горных породах (апатиты, фосфориты), из которых в процессе выщелачивания водорастворимые фосфаты (PO_4^{3-}) попадают в наземные и водные экосистемы. Попадая в экосистемы суши, фосфор поглощается растениями из водного раствора в виде неорганического фосфат - иона (PO_4^{3-}) и включается в состав различных фосфорорганических соединений. По пищевым цепям фосфорсодержащее органическое вещество переходит от растений к другим организмам экосистемы. Химически связанный фосфор попадает с остатками растений и животных в почву, где подвергается воздействию микроорганизмов и превращается в минеральные соединения фосфора, доступные растениям в ходе фотосинтеза. Вынос фосфатов из наземных экосистем в континентальные водоемы обогащает последние фосфором. Речной сток ежегодно выносит в Мировой океан около 2 млн. т фосфора.

В морских экосистемах минеральный фосфор переходит в состав фитопланктона, служащего пищей другим организмам моря, и накапливается в тканях морских животных, например, рыб. Часть органических соединений фосфора мигрирует по пищевым цепям в пределах небольших глубин, другая часть опускается на большие глубины в процессе осаднения мертвого органического вещества. Отмершие остатки организмов приводят к накоплению фосфора на разных глубинах. Отсюда следует, что фосфор, попадая в водоемы тем или иным путем, насыщает, а нередко и перенасыщает их экосистемы. Обратное движение фосфора из Мирового океана на сушу и в наземные водоемы ограничено (вылов рыб и других организмов человеком) и не компенсирует вынос фосфора с суши. И только в значительных временных интервалах, когда в процессе тектонического движения земной коры дно океанов становится сушей, происходит замыкание этого биогеохимического цикла.

Круговорот серы. Существуют многочисленные газообразные соединения серы, например сероводород (H_2S) и сернистый ангидрид (SO_2).

Однако преобладающая часть круговорота этого элемента имеет осадочную природу и происходит в почве и воде.

Подробная схема круговорота серы приведена на рис. 10.4.

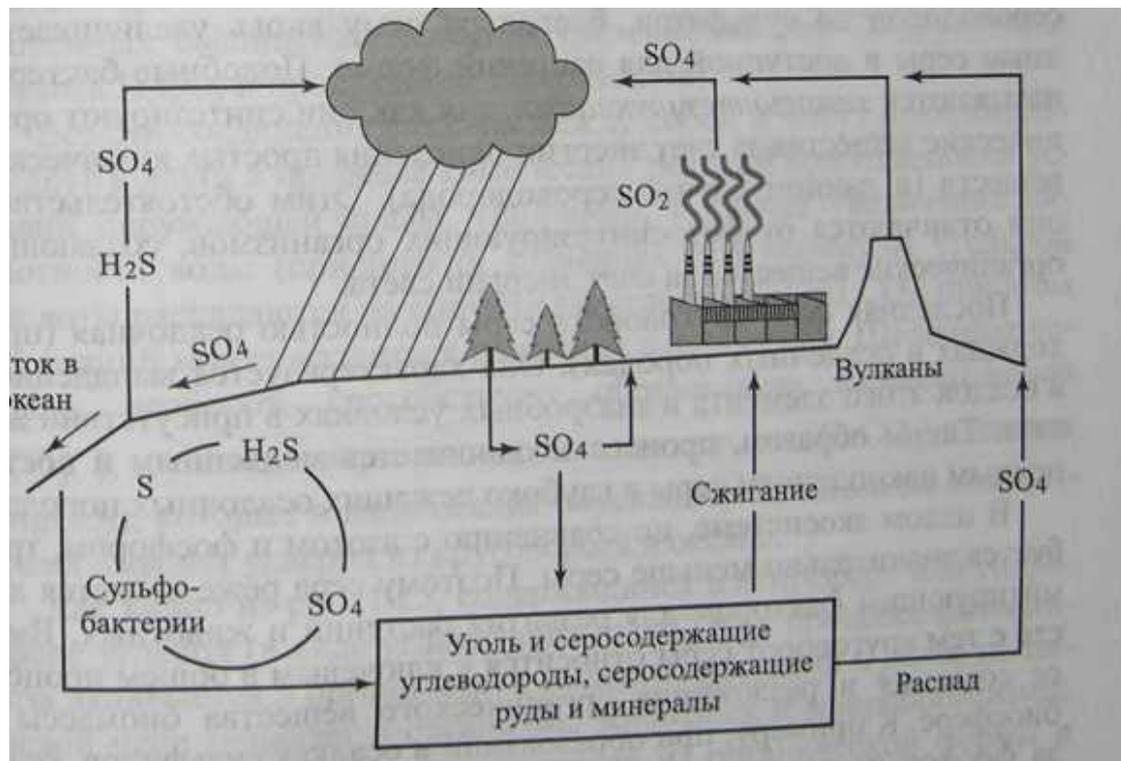


Рис 10.4. Схема круговорота серы

Основной источник серы, доступный живым организмам, - сульфаты (SO_4^{2-}). Многие сульфаты растворимы в воде, и это определяет доступность неорганической серы для растений, так как многие элементы (в том числе и сера) могут поступать в живые организмы только в растворенном виде. Растения, поглощая сульфаты, восстанавливают их и вырабатывают незаменимые серосодержащие аминокислоты (метионин, цистеин, цистин), играющие важную роль в создании третичной (пространственной) структуры белков. Животные и микроорганизмы, потребляя растительную биомассу в пищу, усваивают серосодержащие органические соединения.

При разложении мертвого органического вещества (опавшая листва, погибшие организмы, продукты выделения) гетеротрофными бактериями сера вновь переходит в неорганическую форму (преимущественно в виде сероводорода H_2S). Некоторые бактерии могут вырабатывать сероводород из сульфатов в *анаэробных* (бескислородных) условиях. Другая немногочисленная группа бактерий может восстанавливать сероводород до элементарной серы (S).

С другой стороны, существуют бактерии, опять окисляющие сероводород до сульфатов, благодаря чему вновь увеличивается запас серы в доступной для растений форме. Подобные бактерии называются *хемосинтезирующими*, так как они синтезируют органические вещества за счет энергии окисления простых химических веществ (в данном случае сероводорода). Этим обстоятельством они отличаются от фотосинтезирующих организмов, создающих органические вещества за счет энергии света.

Последняя фаза круговорота серы полностью осадочная (проходящая в осадочных породах). Она характеризуется выпадением в осадок этого элемента в анаэробных условиях в присутствии железа. Таким образом, процесс заканчивается медленным и постепенным накоплением серы в глубоко лежащих осадочных породах.

В целом экосистеме, по сравнению с азотом и фосфором, требуется значительно меньше серы. Поэтому сера реже является лимитирующим фактором для развития растений и животных. Вместе с тем круговорот серы относится к ключевым в общем процессе создания разложения органического вещества биомассы в биосфере. К примеру, при образовании в осадках сульфидов железа фосфор из

нерастворимой формы переходит в растворимую и становится доступным для фотосинтезирующих организмов. Это служит наглядным подтверждением того, что один круговорот связан с другим и регулируется им.

Круговорот углерода. Углерод в качестве важнейшего структурного элемента входит в состав любого органического вещества, поэтому его круговорот во многом определяет интенсивность образования и разрушения органического вещества в различных частях биосферы. В природе углерод существует в двух наиболее распространенных минеральных формах - в виде карбонатов (известняков) и в виде подвижной формы углекислого газа (углекислоты, CO_2). В биохимическом круговороте углерода атмосферный фонд углекислого газа относительно невелик (711 млрд. т) в сравнении с запасами углерода в океанах (39000 млрд. т), в ископаемом топливе (12000 млрд. т) и наземных экосистемах (3100 млрд. т).

Приблизительно 93 % углекислого газа находится в океане, который способен удерживать намного больше этого химического соединения, чем другие резервуары. Большая часть углекислоты, поступающей из атмосферы в поверхностные слои морской воды, взаимодействует с водой с образованием угольной кислоты и продуктов ее диссоциации. Таким образом, в океане постоянно существует *карбонатная система* - сумма всех неорганических растворенных соединений углерода (углекислый газ CO_2 , угольная кислота H_2CO_3 и продукты ее диссоциации).

Все эти соединения связаны между собой и могут превращаться друг в друга в процессе химических реакций при изменении условий окружающей среды. Например, в случае увеличения кислотности воды (при низких значениях pH) молекулы угольной кислоты распадаются на воду H_2O и углекислый газ CO_2 , при этом последний может удаляться из океана в атмосферу. Щелочные условия, наоборот, способствуют образованию карбонат-ионов (CO_3^{2-}), труднорастворимых карбонатов кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3), которые в виде осадка опускаются на дно и на какое-то время выводят углерод из круговорота в океане.

Как видно из рис. 10.5, содержащийся в атмосфере или гидросфере углерод (в виде углекислого газа CO_2) в процессе фотосинтеза включается в органическое вещество растений и далее по пищевой цепи попадает в организмы животных и микроорганизмы. Обратный процесс перехода углерода из органической формы в

минеральную происходит во время дыхания всех организмов животных, и растений (окисление органического вещества до углекислого газа (CO_2) и воды (H_2O)). Процесс высвобождения углекислого газа из органического вещества происходит не сразу, а постепенно, частями на каждом трофическом уровне. В почве очень часто биогеохимический цикл углерода замедляется, так как органические вещества минерализуются не полностью, а трансформируются в органические комплексы - гумус.

Особенность функционирования наземных экосистем - значительное и относительно долговременное накопление органической формы углерода в биомассе растений и животных, а также в гумусе. Таким образом, биомасса наземных экосистем также может рассматриваться как значительный запас углерода в биосфере.

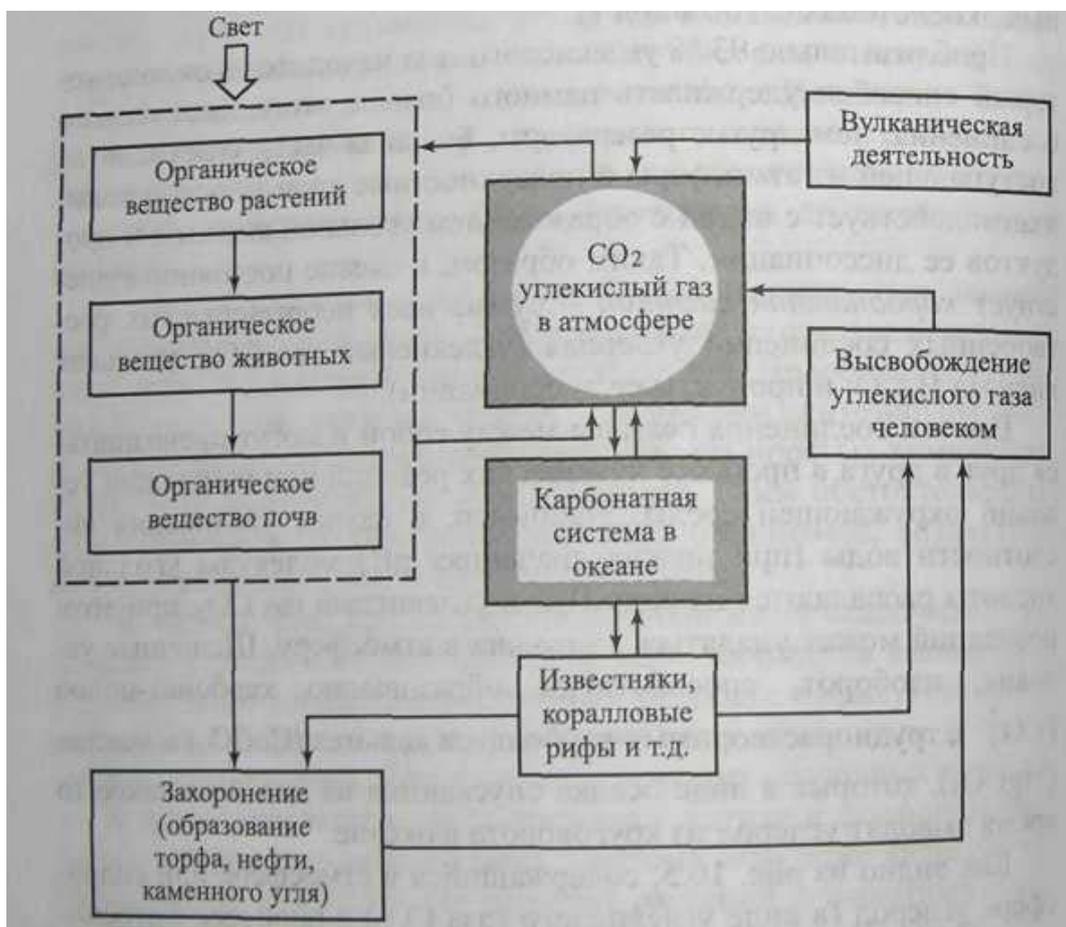


Рис. 10.5. Схема круговорота углерода (серые прямоугольники - резервные фонды углерода)

Океаническая ветвь биогеохимического цикла углерода имеет свои особенности, которые, учитывая значительный объем содержащегося в воде углерода, определяют важную роль Мирового океана в круговороте данного элемента. В

водной среде в отличие от наземных экосистем основными фотосинтезирующими организмами являются одноклеточные микроскопические водоросли, парящие в водной толще (фитопланктон).

Жизнедеятельность организмов фитопланктона достаточно активна и сопровождается как накоплением органического углерода в виде биомассы, так и выделением растворенного органического углерода. Животные и бактерии потребляют эти органические формы углерода.

Особенностью функционирования водной экосистемы является быстрый переход органических форм углерода по пищевой цепи от одних организмов к другим. В отличие от наземных экосистем в океане не образуются значительные запасы органического углерода в биомассе живых организмов. Большая часть органического углерода в гидросфере вновь потребляется и в конце концов окисляется до минеральной формы - углекислого газа (CO_2). Другая часть мертвого органического вещества (детрит) под действием силы тяжести оседает в глубокие слои водной толщи и откладывается на дне, где может долгое время сохраняться в виде органических осадков.

Небольшая часть органического вещества и содержащегося в нем углерода, по терминологии В.И. Вернадского, ускользает от круговорота и «уходит в геологию» - в отложения в виде торфа, угля, нефти и известняка в водных экосистемах.

Современный баланс углекислого газа в атмосфере представлен в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Ежегодный баланс CO_2 в атмосфере

Составляющие баланса	Ежегодные поступления/убывания CO_2
Поступление в атмосферу:	
индустриальные выбросы	6,41
в процессе вырубki лесов	1,08
при эрозии почв	0,91
Поглощение из атмосферы:	
экосистемами суши (фотосинтез)	4,05
Мировым океаном («карбонатная система»)	1,05
CO_2 , остающийся в итоге ежегодно в атмосфере	3,3

Источник: Тарко А.М. Устойчивость биосферных процессов и принципов Ле Шателье

// Доклады РАН. 1995. Т. 343. № 3. С. 123.

Таким образом, около из 6,41 млрд. т углекислого газа, ежегодно выбрасываемых промышленностью, 3,3 млрд. т, т.е. более 50% остается в атмосфере. За последние 150 лет это уже привело к увеличению содержания углекислоты в атмосфере более чем на 25% и вызвало стимуляцию парникового эффекта. В свою очередь изменение климатического режима Земли может привести и уже приводит к глобальному изменению климата.

В целом в биосфере в постоянном круговороте находится около 0,2% мобильного запаса углерода. Углерод биомассы обновляется за 12 лет, атмосферы - за 8 лет, что подтверждает высочайшую сбалансированность биогеохимического цикла углерода.

Контрольные вопросы и задания.

1. Что называется биогеохимическими циклами и как они связаны с экосистемами?
2. Охарактеризуйте резервный и обменный фонд в круговороте химических элементов.
3. Укажите блоки экосистем, через которые проходят биогеохимические циклы элементов.
4. В круговороте каких биогенных элементов ключевая роль принадлежит микроорганизмам?
5. Для каких элементов атмосфера является резервным фондом?

11. ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Каждый биологический вид, существующий в природе, - это сложный комплекс внутривидовых групп организмов с однотипными чертами строения, физиологией и образом жизни. Такими внутривидовыми группами организмов являются популяции.

Популяция - группа организмов одного вида, способная поддерживать свою численность длительное время, занимающая определенное пространство и функционирующая как часть биотического сообщества экосистемы

Биотическое сообщество представляет собой совокупность популяций организмов разных видов, функционирующих как целостная система в определенном физико-географическом пространстве среды обитания.

Приспособительные возможности у популяции значительно выше, чем у слагающих ее индивидов. Популяция как биологическая единица обладает определенной структурой и функциями.

Популяция обладает *биологическими свойствами*, присущими как популяции в целом, так и составляющим ее организмам, и *групповыми свойствами*, проявляющимися только в целой группе. К биологическим свойствам популяции относятся, в частности, рост и участие в круговороте веществ. В отличие от биологических, групповые свойства: рождаемость, смертность, возрастная структура, распределение в пространстве, генетическая приспособленность и репродуктивная непрерывность (т.е. вероятность оставления потомков на протяжении длительного периода времени) - могут характеризовать только популяцию в целом.

Ниже представлены основные показатели популяции.

Плотность популяции - это численность популяции, отнесенная к единице пространства. Ее обычно измеряют и выражают числом организмов (численность популяции) или суммарной биомассой организмов (биомассой популяции) на единицу площади или объема, например, 500 деревьев на 1 га, 5 млн. микроводорослей на 1 м³ воды или 200 кг рыбы на 1 га поверхности водоема.

Иногда бывает важно различить *удельную*, или *экологическую плотность* (численность или биомассу на единицу обитаемого пространства, т. е. фактически доступного для организмов конкретной популяции) и *среднюю плотность* (вели-

чину популяции, отнесенную к единице пространства в географических пределах обитания популяции). Например, средняя плотность лесных лягушек - это их численность, отнесенная к площади лесного массива. Однако эти животные обитают только в заболоченных участках леса, площади которых учитываются при расчете удельной плотности популяции.

Плотность популяции не является постоянной величиной - она изменяется с течением времени в зависимости от условий обитания, сезона года и т. д. Распределение организмов в пространстве, занимаемом популяцией, может быть случайным, равномерным и групповым. Чаще всего в природе встречаются различного рода скопления организмов одного вида (групповое распределение: семейные группы и стаи у животных, групповые заросли у растений).

Наиболее полное представление о плотности популяции дает комплексное использование показателей: численность особей хорошо характеризует их среднюю удаленность друг от друга; биомасса - концентрацию живого вещества; калорийность - количество связанной в организмах энергии. Как правило, плотность популяции растений выше, чем плотность популяции травоядных животных на той же территории. Чем крупнее организмы, тем больше их биомасса.

Плотность - одно из важнейших свойств популяции. От плотности популяции зависят дыхание, питание, размножение и многие другие функции отдельных организмов популяции. Чрезмерная плотность популяции ухудшает условия ее существования, снижая обеспеченность организмов пищей, водой, жизненным пространством и т. д. Отрицательно влияет на существование популяции и недостаточная ее плотность, которая затрудняет выбор особей противоположного пола, защиту популяции от хищников и т.д. (см. подробнее о массовых и групповых эффектах в лекции 6).

Существует ряд механизмов поддержания плотности популяций на нужном уровне. Главный из них - саморегуляция численности популяции по принципу обратной связи с количеством и ограниченными жизненными ресурсами, в частности, пищей. Так, когда пищи становится меньше, рост особей замедляется, смертность возрастает, половая зрелость (т. е. способность к размножению) наступает позже, и в результате численность популяции и ее плотность снижается. Улучшение условий существования сопровождается изменениями противоположного характе-

ра, и плотность популяции возрастает до определенного предела. Численность популяции может колебаться вследствие миграции, смены поколений, появления новых особей (благодаря рождению и вселению из других популяций) или в результате гибели. Изучение динамики численности популяции весьма важно для предсказания всплеск численности организмов вредителей или промысловых животных.

Численность популяции определяется в основном двумя противоположными явлениями - *рождаемостью* и *смертностью*.

Рождаемость - это способность популяции к увеличению численности. Она характеризует появление на свет новых организмов в процессе: рождения у животных, прорастания семян у растений, образования новых клеток в результате деления у микроорганизмов. Общее число новых молодых особей (ΔN), появившихся в популяции за единицу времени (Δt), называют *абсолютной (общей) рождаемостью*. Для сравнения рождаемости разных популяций используется понятие *удельной рождаемости* (b), выраженной числом новых особей на одну особь в единицу времени:

$$b = \frac{\Delta N}{\Delta t N}$$

Так, для популяций человека в качестве показателя удельной рождаемости используют количество новорожденных детей, родившихся за 1 год на 1 тыс. населения.

Максимальная (потенциальная) рождаемость - это теоретический максимум скорости появления новых особей в идеальных условиях (когда скорость размножения не снижается под действием лимитирующих экологических факторов). Максимальная рождаемость - величина постоянная для данной популяции. В реальных (природных) условиях существования популяции уровень рождаемости определяется различными факторам среды, которые ограничивают скорость появления новых особей. Поэтому для оценки динамики численности популяции используют понятие *экологической (реализованной) рождаемости*, представляющей увеличение числа особей в популяции в конкретных условиях среды обитания. Экологическая рождаемость - величина непостоянная и сильно варьирует в зависимости от плотности популяции и условий среды обитания.

Различие между максимальной и реализованной рождаемостью можно проиллюстрировать следующим примером. В опытах с мучным хрущакom эти жучки отложили 12 000 яиц (максимальная рождаемость), из которых вылупились только 773 личинки (или 6%)- величина реализованной рождаемости. В общем, для биологических видов, которым не свойственна забота о потомстве (например, многие насекомые, рыбы, земноводные), характерна высокая потенциальная рождаемость и низкая реализованная рождаемость.

Смертность - количество особей в популяции, погибших за определенный период. Понятие смертности противоположно понятию рождаемости. Общее число погибших особей (ΔN) за единицу времени (Δt) называется *абсолютной (общей) смертностью*. Смертность можно выразить числом особей погибших в единицу времени в расчете на одну особь - *удельная смертность* (d):

$$d = \frac{\Delta N}{\Delta t N}$$

Экологическая (реализованная) смертность - число погибших особей в конкретных природных условиях. Как и экологическая рождаемость, она не постоянна и зависит от особенностей окружающей среды. Теоретическая *минимальная смертность* - величина постоянная, характеризующая гибель особей (от старости) в идеальных условиях среды (т. е. в отсутствие лимитирующего влияния факторов среды обитания). В конкретных условиях скорость убывания численности популяции определяется гибелью от хищников, болезней и старости.

Часто при описании динамики численности популяции используют понятие *выживаемости*, т. е. величины, обратной смертности. Если смертность d , то величина выживаемости $1 - d$.

Как и рождаемость, смертность и, соответственно, выживаемость у многих организмов в значительной степени варьируют с возрастом. В связи с этим большое значение имеет определение удельной смертности для разных возрастных групп, поскольку это позволяет экологам выяснить механизмы, определяющие общую смертность в популяции. Продолжительность жизни особей популяции можно оценить, используя *кривые выживания* (рис. 11.1) Откладывая по оси абсцисс возраст особи как процент от общей продолжительности жизни, а по оси ординат - число особей доживших до конкретного возраста, можно сравнить кривые выживания для видов, продолжительность жизни особей которых значительно

различается.

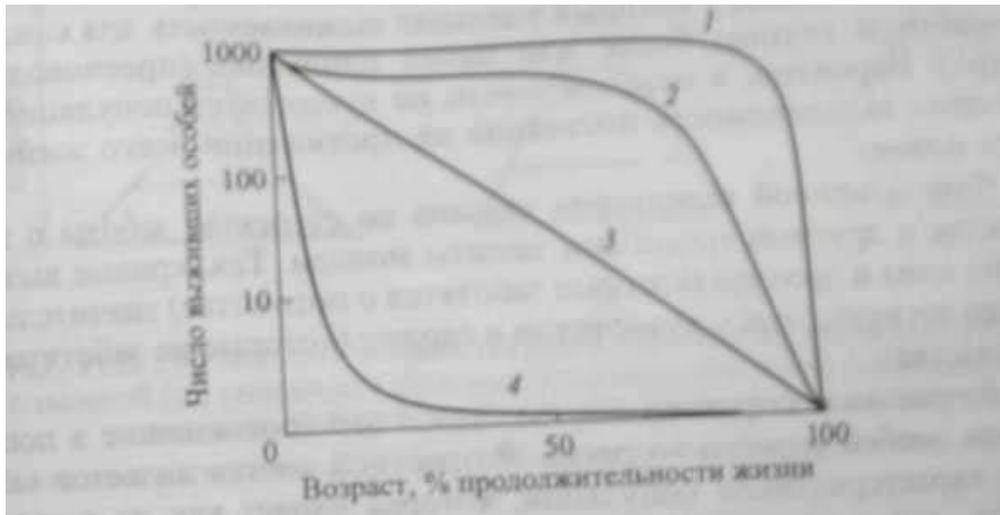


Рис 11.1. Типы кривых выживания; 1 - дрозофила; 2 - человек; 3 - пресноводная гидра; 4 - устрица.

Кривые выживания подразделяются на три общих типа (см. рис. 11.1)

Первый тип (выпуклые кривые 1 и 2) характерен для таких видов в популяции которых наибольшая смертность приходится на конец жизни, т. е. смертность почти до конца жизненного цикла остается низкой и резко повышается только у старых особей. Большинство особей одной популяции имеют примерно одинаковую продолжительность жизни, например, крупные животные.

Другой крайний вариант (сильновогнутая кривая 4) соответствует высокой смертности на ранних стадиях жизненного цикла и повышению выживаемости более взрослых стадий. Этот тип смертности свойственен большинству растений и животных. Максимальная скорость гибели характерна для личиночной фазы развития или в молодом возрасте у животных, а также у многих растений в стадии прорастания семян и всходов. При достижении взрослого состояния организмы становятся более устойчивыми к неблагоприятным воздействиям экологических факторов, и их смертность значительно снижается (и увеличивается выживаемость). Так, при развитии личиночных стадий рыб до половозрелого состояния взрослых особей, доживает, как правило, не более 1...2 % от общего количества выметанных икринок. У насекомых до половозрелого состояния доживает еще меньше: от 0,3 до 0,5% от общего количества отложенных яиц.

К промежуточному типу (линия 3) относятся кривые выживания для тех видов, у которых удельная выживаемость для каждой возрастной группы более или

менее одинакова (пресноводная гидра). Вероятно, в природе почти не существует популяций, у которых выживаемость постоянна на протяжении всего жизненного цикла.

Форма кривой выживания связана со степенью заботы о потомстве и другими способами защиты молоди. Так, кривые выживания пчел и дроздов (которые заботятся о потомстве) значительно менее вогнуты, чем у кузнечиков и сардин (которые не заботятся о потомстве).

Возрастная структура популяции - это соотношение в популяции особей разного возраста.

Возрастной состав является важной характеристикой популяции, которая влияет как на рождаемость, так и на смертность. Большинство популяций в природе состоит из особей разного возраста и пола.

Упрощенно в популяции можно выделить три экологические возрастные группы:

- *предрепродуктивная* - молодые особи, еще не достигшие половой зрелости, т. е. не способные участвовать в размножении;
- *репродуктивная* - половозрелые особи, способные участвовать в размножении;
- *пострепродуктивная* - старые особи, утратившие способность участвовать в размножении.

Отношение этих возрастов к общей продолжительности жизни в популяции сильно варьирует у разных видов. На количественное соотношение разных возрастных групп в популяции влияют общая продолжительность жизни, время достижения половой зрелости, интенсивность размножения, смертность в разных возрастах. В свою очередь соотношение разных возрастных групп в популяции определяет ее способность к размножению в данный момент и показывает, чего можно ожидать в будущем. Изменение соотношения численности основных возрастных групп в популяциях графически изображается в виде возрастных пирамид (рис. 11.2). В быстрорастущей популяции значительную долю составляют молодые особи (рис. 11.2, а) популяции, численность которой не меняется со временем, возрастной состав более равномерный (рис. 11.2, б), а в популяции, численность которой снижается, будет увеличиваться доля старых особей (рис. 11.2, в).

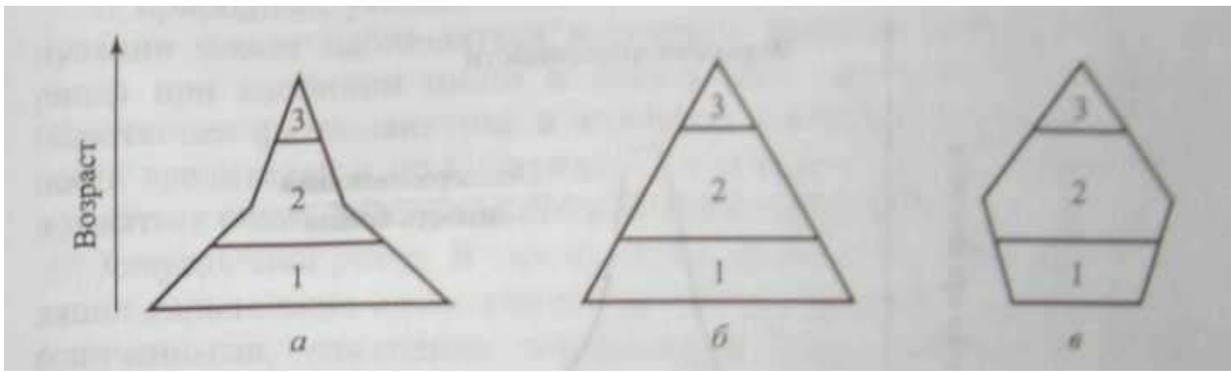


Рис. 11.2. Три типа возрастных пирамид, характеризующие популяции с высокой (*a*), умеренной (*б*) и малой (*в*) относительной численностью молодых особей (в % от общей численности популяции):

1 - предрепродуктивная, 2 - репродуктивная, 3- пострепродуктивная возрастная группа

Рост популяции и кривые роста. Если рождаемость в популяции превышает смертность, то наблюдается рост численности популяции.

Каждой популяции и каждому виду в целом свойствен *биотический потенциал* - максимальная теоретически возможная скорость роста (*r*) популяции, представляющая собой разность между удельной рождаемостью (*b*) и удельной смертностью (*d*):

$$r = b - d.$$

Увеличение численности популяции может быть описано *кривыми роста* двух основных типов - J-образной кривой (экспоненциальный рост) и S-образной кривой (затухающий рост).

Экспоненциальный рост численности популяции характеризуется J-образной кривой роста и происходит когда пищевые пространственные и другие важные жизненные ресурсы популяции находятся в избытке, а смертность с возрастанием численности особей не увеличивается (рис. 11.3).

Уравнение J-образной кривой роста имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

где *N* - численность популяции; *t*- время; *r* - константа скорости роста численности популяции, связанная с максимальной скоростью размножения особи данного вида (биотический потенциал).



Рис. 11.3. J-образная кривая роста мелких ракообразных (дафний):

K- поддерживающая емкость среды

Как следует из уравнения J-образного роста, численность популяции быстро возрастает, так как скорость роста в этом случае пропорциональна численности популяции. При достижении предельной для данного местообитания численности особей, равной K (поддерживающая емкость среды), рост популяции быстро прекращается и численность популяции уменьшается. Через некоторое время (различное для разных видов) при возникновении избытка необходимых для развития популяции ресурсов экспоненциальный рост может возобновиться. Таким образом, для организмов с подобным типом роста популяции (J-численности характерны периодически повторяющиеся вспышки численности с последующей гибелью большей части популяции (это относится к фитопланктону, мелким ракообразным, насекомым и др.).

Уравнение J-кривой роста характеризует возможности увеличения численности популяций, которые редко реализуются в природе из-за множества лимитирующих факторов среды.

Таким образом, в чистом виде экспоненциальный рост - абстракция, помогающая моделировать изменения численность популяций в некоторых условиях. В частности, знание коэффициента r оказывается очень важным для прогноза возможных вспышек численности, когда надо определить потенциальную способность популяции к росту.

В природных условиях экспоненциальный характер роста популяции может наблюдаться в течение непродолжительного периода при изобилии пищи и отсутствии скученности и врагов («цветение» фитопланктона в водоемах весной, вспышки численности вредителей и пр.). Очевидно, что такой рост не может продолжаться очень долго, а часто и вовсе отсутствует.

Затухающий рост. В тех случаях, когда с увеличением популяции дальнейшие возможности ее роста становятся все более ограниченными, изменение численности описывается S-образной кривой (рис. 11.4), уравнение которой имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

где K - поддерживающая емкость среды, т. е. максимальное число организмов, способных развиваться в данных условиях среды.

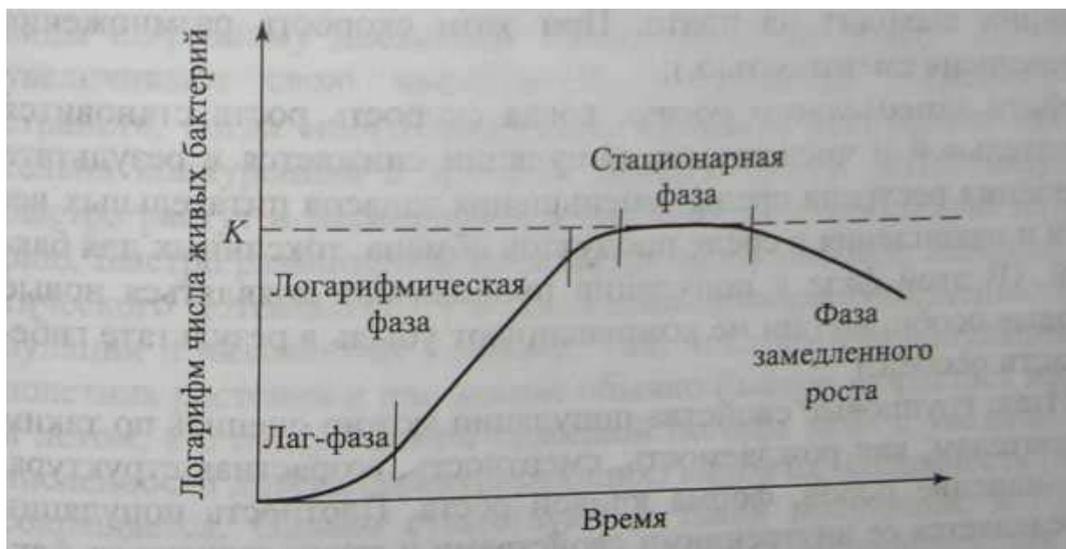


Рис. 11.4. Типичная S-образная кривая роста бактерий: K - поддерживающая емкость среды

В уравнении S-образной кривой роста меняется при изменении плотности популяции, т.е. чем выше плотность, тем меньше скорость роста популяции. Характерная форма кривой обусловлена постепенным усилением (по мере нарастания плотности популяции) действия неблагоприятных факторов (уменьшение количества доступной пищи, убежищ, мест гнездования и т. д.).

Так при $N < K$ скорость роста положительна; $N = K$ скорость роста равна нулю, при $N > K$ скорость роста отрицательна (численность популяции уменьшается).

Кривая роста S-образной формы хорошо описывает рост популяции многих животных, растений, микроорганизмов.

Рассмотрим особенности роста популяции одноклеточной бактериальной клетки, помещенной в оптимальную для развития питательную среду. Особенности роста культуры бактерий в питательной среде отражены на рис. 11.4.

На кривой роста культуры бактерий можно выделить три фазы роста:

- *логарифмическую фазу*, когда бактерии растут и размножаются с максимально возможной скоростью и число клеток увеличивается экспонциально;

- *стационарную фазу*, когда рост бактерий начинает замедляться в результате уменьшения запаса питательных веществ и выделения продуктов жизнедеятельности. (С увеличением плотности популяции скорость роста снижается до нуля и кривая роста выходит на плато. При этом скорость размножения уравновешена смертностью);

- *фазу замедленного роста*, когда скорость роста становится отрицательной и численность популяции снижается в результате истощения ресурсов среды; уменьшения запасов питательных веществ и накопления в среде продуктов обмена, токсичных для бактерий. (В этой фазе в популяции продолжают появляться новые молодые особи, но они не компенсируют убыль в результате гибели части особей).

Итак, групповые свойства популяции можно оценить по таким показателям, как рождаемость, смертность, возрастная структура, соотношение полов, форма кривой роста. Плотность популяции определяется ее внутренними свойствами и также зависит от факторов, действующих на популяцию извне.

Колебания численности популяций. Когда популяция прекращает расти, ее плотность колеблется относительно верхнего уровня численности. Часто колебания обусловлены сезонными или годовыми изменениями доступности пищевых ресурсов. Однако у некоторых популяций колебания численности столь регулярны, что их можно рассматривать как циклические.

Амплитуда колебаний зависит от особенностей вида и от условий его существования. У многих крупных позвоночных (при относительно постоянных условиях - окружающей среды) численность может изменяться в несколько раз. В то же время у насекомых диапазон колебаний численности популяции шире в 40-50

раз, а в отдельные годы (при благоприятных условиях) численность популяции возрастает в десятки и даже миллионы раз. Например, вспышки численности саранчи происходят с интервалом примерно один раз в 40 лет. Помимо нерегулярных вспышек численности могут возникать и регулярные вспышки, обусловленные изменениями различных факторов среды - температуры, пищевых ресурсов и пр.

Следует отметить, что повышение плотности популяций сверх оптимальной величины оказывает на них неблагоприятное воздействие, так как при этом сокращается пищевой ресурс, уменьшается жизненное пространство, быстро распространяются болезни т.д. У многих видов животных при росте плотности популяции снижается плодовитость.

Экологические стратегии. Приспособления организмов в конечном счете предназначены для того, чтобы повысить вероятность их выживания в конкретных условиях среды и чтобы они могли оставить максимально возможное число потомков. Разные виды по-разному достигают этого. Одни популяции интенсивно увеличивают свою численность в условиях незанятых пространств, когда много доступных пищевых ресурсов и незначительна конкуренция с другими видами. Особи таких популяций быстро растут и размножаются, занимая всю свободную территорию. Быстро размножающиеся виды имеют высокое значение биотического потенциала (r) в уравнении динамики численности популяции и называются *r-видами*. Так, численность популяций однолетних растений и насекомых обычно быстро возрастает весной и летом, а с наступлением холодной погоды либо с увеличением численности других (конкурирующих) видов их численность резко сокращается. Однако существуют и такие популяции, которые обычно не способны резко увеличивать свою численность, так как обладают низкой скоростью размножения. Вместе с тем они обладают большей способностью добывать в конкурентной борьбе скудные пищевые ресурсы и более эффективно их использовать. Численность таких популяций более стабильна и сохраняется на уровне, близком к поддержанию емкости среды K . Соответствующие виды называются *K-видами*.

Таким образом, существуют два типа приспособленности биологических видов к конкретным условиям среды обитания, которые определяют *экологические стратегии* видов.

Экологическая стратегия вида -это совокупность приспособлений организмов, обеспечивающих в конечном счете максимально возможную численность популяции данного вида в конкретном сообществе.

Различают два типа экологических стратегий – *r* - и *K*-стратегии (табл. 11.1).

Первая из них *r-стратегия* развития популяции - присуща видам, обладающим высокой скоростью размножения (т.е. для них характерен высокий уровень биотического потенциала *r*). Это, как правило, так называемые пионерные виды, быстро осваивающие новые территории и заполняющие их своим потомством. Но *r*- виды плохо приспособлены к конкуренции и при последующем развитии сообщества вытесняются *K*-видами.

Вторая - *K-стратегия* - характерна для видов с низкой скоростью размножения, но высокой устойчивостью к действию факторов среды. Скорость размножения этих видов зависит от плотности и остается близкой к уровню равновесия (*K*). *K*-виды медленно занимают новые территории, но, освоив их, хорошо приспособляются к новым условиям среды.

Эти две стратегии представляют собой два различных способа решения одной и той же стратегической задачи - длительного выживания вида.

Таблица 11.1

Характерные особенности *r*- и *K*-стратегий

Параметры и характеристики	<i>r</i> -стратегия	<i>K</i> -стратегия
Рождаемость	Высокая и независимая от плотности популяции	Низкая и зависима от плотности популяции
Конкуренентоспособность	Низкая	Высокая
Кривая выживания	Обычно 4-го типа	Обычно 1-3-го типов
Кривая роста популяции	J-образная кривая	S-образная кривая
Продолжительность жизни	Короткая, обычно менее одного года	Долгая; обычно более одного года
Расселение	Быстрое и широкомасштабное	Медленное
Размеры организмов	Небольшие	Большие
Забота о потомстве	Нет	Есть
Примеры	Бактерии, тли, однолетние растения	Млекопитающие

Составлено по: Пианки Э. Эволюционная экология: Пер. с англ. М., 1981; Одум Ю. Указ. Соч.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение популяции.
2. Назовите основные свойства популяции
3. Что понимается под биотическим потенциалом? Почему он не полностью реализуется в природных условиях? Какие факторы ограничивают реализацию биотического потенциала?
4. Назовите основные типы роста популяции.
5. В чем состоит основное отличие и сходство двух типов экологических стратегий?

12. СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ ЭКОСИСТЕМ

Общие свойства систем. Центральное понятие в экологии - экосистема отражает основополагающее представление этой науки о том, что природа функционирует как целостная система независимо от того, о какой среде идет речь: пресноводной, морской или наземной. Общая теория сложных систем, к которой относится и изучение интегральных свойств экосистем, начиналась с работ биолога Людвиг фон Бергаланфи в конце 40-х годов XX в. Системный подход к решению проблем, связанных с окружающей средой, приобретает все большую практическую значимость.

Под системой понимается упорядочение взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, образующие единое целое.

Целое - это определенное единство элементов, имеющее свою структуру. Понятие «структура» отражает расположение элементов и характер их взаимодействия.

Системы имеют следующие специфические свойства:

- изоляция;
- интеграция;
- целостность;
- стабильность;
- равновесие;
- управление;
- устойчивость (гомеостаз);
- эмерджентность.

Эмерджентность (от англ. *emergence* - появление) - универсальная характеристика систем, в том числе экосистем, заключающаяся в том, что свойства системы как целого не являются простой суммой свойств слагающих ее частей или элементов. По мере объединения компонентов в более крупные функциональные единицы, у последних возникают новые свойства, отсутствовавшие на предыдущем уровне (уровне компонентов). Такие качественно новые, эмерджентные, свойства системного уровня организации нельзя предсказать исходя из свойств компонентов составляющих этот уровень или единицу.

Эмерджентные свойства систем возникают в результате взаимодействия компонентов, а не в результате изменения их природы. Учитывая эмерджентные свойства, для изучения целого не обязательно знать все его компоненты, что очень важно для экологии, так как многие экосистемы включают тысячи компонентов-популяций, досконально изучить, которые не представляется возможным. Поэтому на первое место по значимости выступают интегральные свойства целостных сложных экологических систем: суммарная биомасса, продукция и деструкция отдельных трофических уровней, без знания закономерностей, изменения которых нельзя описать поведение всей системы во времени и прогнозировать ее будущее.

Устойчивость саморегулирующихся систем определяет их способность возвращаться в исходное состояние после небольшого отклонения. В этом случае действует принцип *Ле Шателье - Брауна*: при внешнем воздействии, выводящем систему из устойчивого равновесного состояния, равновесие смещается в том направлении, в котором эффект внешнего воздействия ослабляется.

Существование систем немислимо без *прямых* и *обратных* связей. Прямой называют такую связь, при которой один элемент (А) действует на другой (В) без ответной реакции. Если ответная реакция существует, то говорят об обратной связи (рис. 12.1).



Рис. 12.1 Механизм обратной связи

Этот тип связи играет существенную роль в функционировании экосистем и определяет их устойчивость и развитие. Обратные связи бывают положительные и отрицательные.

Положительная обратная связь обуславливает усиление процесса в одном направлении. Например, после вырубки леса заболачиваются территории, появ-

ляются сфагновые мхи (влагонакопители), заболачивание усиливается. *Отрицательная обратная связь* вызывает в ответ на усиление действия элемента А увеличение противоположной по направлению силы действия элемента Б. Это наиболее распространенный и важный тип связей в природных экосистемах. На них прежде всего базируются устойчивость и стабильность экосистем. Пример такой связи - взаимоотношение между хищником и жертвой. Увеличение численности популяции жертв как кормового ресурса создает условия для размножения и увеличения численности популяции хищников. Последние, в свою очередь, начинают более интенсивно уничтожать жертв, уменьшая их численность, и тем самым ухудшают собственные кормовые условия. В менее благоприятных условиях снижается рождаемость в популяции хищника и через некоторое время численность популяции хищников также уменьшается, в результате чего снижается давление на популяцию жертвы. Такая связь позволяет системе сохраняться в состоянии устойчивого динамического равновесия (т. е. саморегулирования).

Обычно различают три вида систем:

1) *изолированные* - существующие в определенных границах, через которые не происходит обмен веществ и энергии (такие системы создаются только искусственно);

2) *закрытые* - обменивающиеся со средой только энергией;

3) *открытые* - обменивающиеся со средой веществом и энергией (это природные экосистемы).

Наиболее важное значение общей теории систем для экологии как науки состоит в том, что она позволила создать новую научную методологию - *системный анализ*, при которой природные объекты представляются в виде систем. Последние выделяются исходя из целей исследования. С одной стороны, система рассматривается как единое целое, а с другой - как совокупность элементов. Задачи системного анализа состоят в выявлении:

- связей, которые делают систему целостной;
- связей системы с окружающими объектами;
- процессов управления системой;
- вероятности характера поведения исследуемого объекта (прогноз).

Любая система имеет следующие основные параметры:

- границы;
- свойства элементов и системы в целом;
- структуру;
- характер связей и взаимодействия между элементами системы, а также

между системой и ее внешней средой.

Границы - наиболее сложная характеристика системы, обусловленная ее целостностью и определяемая тем, что внутренние связи и взаимодействия гораздо сильнее внешних. Последнее обстоятельство определяет устойчивость системы к внешним воздействиям.

Свойства элементов и системы в целом характеризуются качественными и количественными признаками, которые называют показателями.

Структура системы определяется соотношением в пространстве и во времени слагающих ее элементов и их связей. Пространственный аспект структуры характеризует порядок расположения элементов в системе, а временной отражает смену состояний системы во времени (т. е. показывает развитие системы). Структура выражает иерархичность (соподчиненность уровней) и организованность системы.

Характер связей и взаимодействия между элементами системы и системы с внешней средой представляет собой различные формы вещественного, энергетического и информационного обмена. При наличии связей системы с внешней средой границы открыты, в противном случае закрыты.

Экосистема. Живые организмы и их окружение (абиотическая среда обитания) неразделимо связаны друг с другом и находятся в постоянном взаимодействии, образуя экологическую систему (экосистему).

Экосистема - сообщество живых существ и их среда обитания, образующие единое функциональное целое на основе причинно-следственных связей между отдельными экологическими компонентами.

Основные свойства экосистем определяются их способностью осуществлять круговорот веществ и создавать биологическую продукцию, т. е. синтезировать органическое вещество. Природные экосистемы в отличие от искусственных, созданных человеком, при стабильных условиях окружающей среды могут существовать

воваться неограниченно долго, так как способны противостоять внешним воздействиям и поддерживать структурно-функциональное постоянство (гомеостаз). Крупные экосистемы включают в себя экосистемы меньшего ранга.

В зависимости от размеров занимаемого пространства экосистемы обычно подразделяют на:

- микроэкосистемы (небольшой водоем, ствол упавшего дерева в стадии разложения, аквариум и т. д.);
- мезоэкосистемы (лес, пруд, озеро, река и т. д.);
- макроэкосистемы (океаны, континенты, природные зоны и т. д.),
- глобальную экосистему (биосфера в целом).

Крупные наземные экосистемы, характерные для определенных географических природных зон, называются биомами (например, тайга, степь, пустыня и т.д.). Каждый биом включают целый ряд меньших по размерам, связанных друг с другом экосистем.

Экосистема состоит из двух основных блоков. Один из них - комплекс взаимосвязанных между собой популяций живых организмов, т. е. *биоценоз*, а второй - это совокупность факторов среды обитания, т.е. *экотон*. Экосистема является функциональной единицей живой природы, включающей биотическую (биоценоз) и абиотическую (среда обитания) части экосистемы, связанные между собой непрерывным круговоротом (обменом) химических веществ, энергию для которых поставляет Солнце (рис. 12.2).

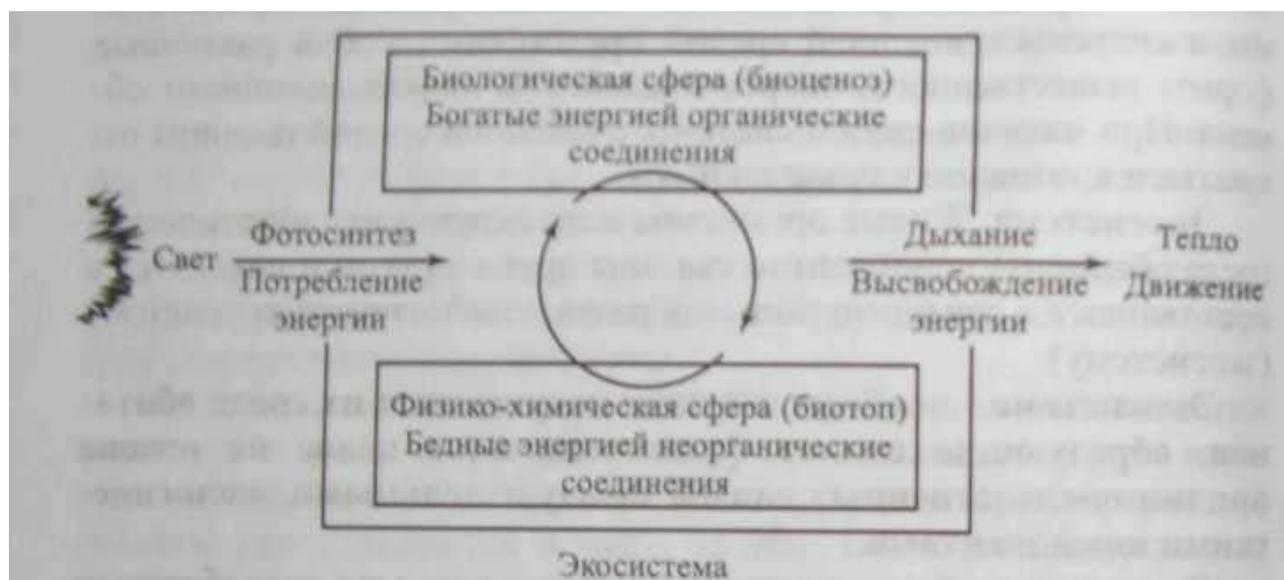


Рис. 12.2. Поток энергии и круговорот химических веществ в экосистеме

Фотосинтезирующие (фотоавтотрофы) организмы (растения, микроводоросли) синтезируют органические вещества из минеральных компонентов почвы, воды и воздуха, используя энергию солнечного света. Образованные в процессе фотосинтеза органические вещества служат растениям источником энергии, необходимым для поддержания своих функций, воспроизводства, а также строительным материалом, из которого они образуют свои ткани (фитомассу). Гетеротрофные организмы (животные, бактерии, грибы) в процессе питания используют созданные фотоавтотрофами различные органические соединения для построения своего тела и в качестве источника энергии. В процессе обмена веществ у гетеротрофов происходят высвобождение запасенной химической энергии и минерализация органического вещества до диоксида углерода, воды, нитратов, фосфатов. Поскольку продукты минерализации органического вещества вновь используются автотрофами, возникает постоянный круговорот веществ в экосистеме.

Структура экосистем. Структура любой системы определяется закономерностями в соотношении и связях ее частей. В каждой экосистеме обязательно присутствуют два основных блока элементов: живые организмы и факторы окружающей их неживой среды. Совокупность организмов (растений, животных, микроорганизмов, грибов и т.д.) называют биоценозом или биотой экосистемы. Система взаимоотношений между организмами, а также между биотой и средой обитания, включающей абиотические факторы, определяет структуру экосистемы.

В составе любой экосистемы можно выделить следующие основные компоненты:

- *неорганические вещества* - минеральные формы углерода, азота, фосфора, вода и другие химические соединения, вступающие в круговорот;
- *органические соединения* - белки, углеводы, жиры и др.;
- *воздушную, водную и субстратную среду*, включающую климатический режим (температура и другие физико-химические факторы);
- *продуценты* - автотрофные организмы, создающие органическую пищу из простых неорганических веществ за счет энергии Солнца (фотоавтотрофы), главным образом зеленые растения и одноклеточные микроскопические водоросли в воде, некоторые группы фотосинтезирующих бактерий и хемоавтотрофы, бактерии использующие энергию окислительно-восстановительных реакций (серобак-

терии, железобактерии и др.);

- *консументы* - травоядные и хищные гетеротрофные организмы, главным образом животные, которые поедают другие организмы;

- *редуценты* (деструкторы) - гетеротрофные организмы, преимущественно бактерии и грибы и некоторые беспозвоночные, разлагающие мертвые органические вещества.

Первые три группы компонентов (неорганические вещества, органические вещества, физико-химические факторы) составляют неживую часть экосистемы (биотоп), а остальные - живую часть (биоценоз). Три последних компонента расположенных относительно потока поступающей энергии, представляют собой *структуру экосистем* (рис. 12.3). Продуценты улавливают солнечную энергию и переводят ее в энергию химических связей органического вещества. Консументы, поедая продуцентов, используют эту энергию для активной жизнедеятельности и построения собственного тела. В результате вся энергия, запасенная продуцентами, оказывается использованной. Редуценты расщепляют сложные органические соединения до минеральных компонентов, пригодных для использования продуцентами (вода, углекислый газ и др.).

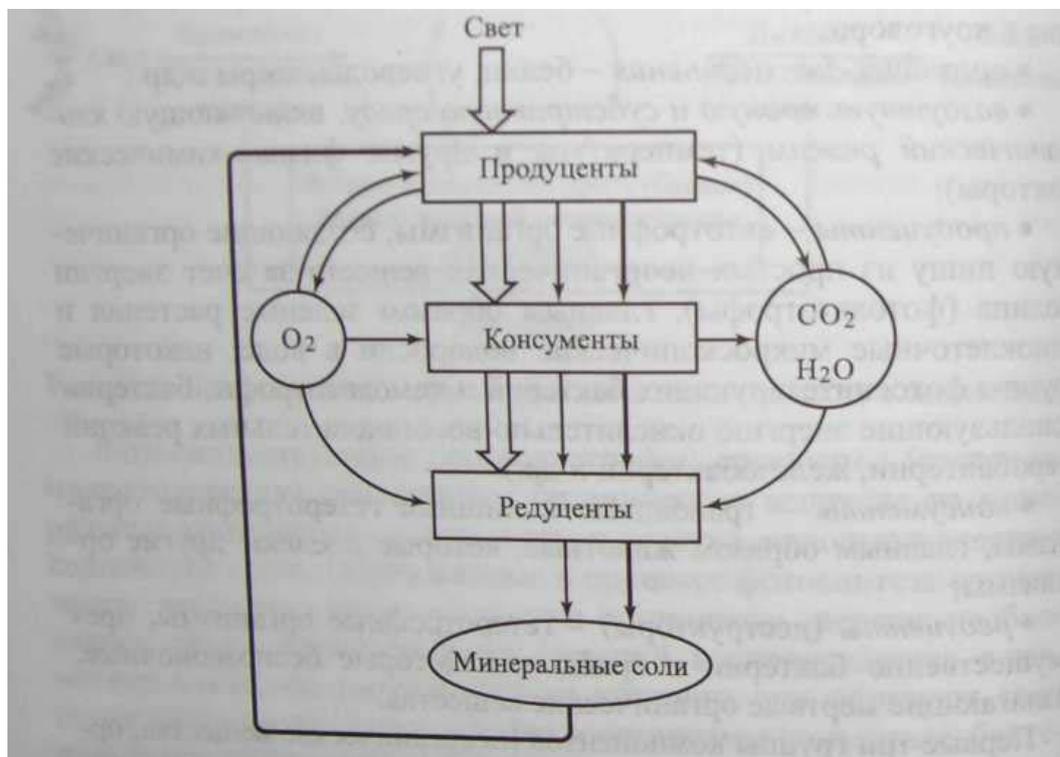


Рис. 12.3. Структура экосистемы, включающая поток энергии (двойная стрелка) и два круговорота веществ: твердых (толстая стрелка) и газообразных (тонкая стрелка)

Таким образом, структуру экосистем образуют три основных группы организмов (продуценты, консументы и редуценты), участвующих в круговоротах твердых и газообразных веществ, трансформации и использовании энергии Солнца.

Одна из общих черт всех экосистем, будь то наземные, пресноводные, морские или искусственные экосистемы, - это взаимодействие автотрофных (продуценты) и гетеротрофных (консументы и редуценты) организмов, которые частично разделены в пространстве (*пространственная структура экосистемы*).

Автотрофные процессы (фотосинтез органического вещества растениями) наиболее активно протекают в верхнем ярусе экосистемы, где доступен солнечный свет. Гетеротрофные процессы (биологические процессы, связанные с потреблением органического вещества) наиболее интенсивно протекают в нижнем ярусе, в почвах и осадках, где накапливаются органические вещества.

Система пищевых взаимодействий между организмами формирует *трофическую структуру* (от греч. *trophe* - питание), которую для наземных экосистем можно разделить на два яруса:

1) верхний *автотрофный ярус* (самостоятельно питающийся), или "зеленый пояс", включающий растения или их части, содержащие хлорофилл, в котором преобладают фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений и накопление сложных органических соединений, и 2) нижний *гетеротрофный ярус* (питаемый другими), или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся веществ, корней и т. п.. в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных органических соединений.

Функционирование автотрофов и гетеротрофов может быть разделено и во времени, так как использование продукции автотрофных организмов гетеротрофами может происходить не сразу, а с существенной задержкой. Например, в лесной экосистеме фотосинтез протекает преимущественно в кронах деревьев. При этом лишь небольшая часть, продуктов фотосинтеза немедленно и непосредственно перерабатывается гетеротрофами, питающимися листвой и молодой древесиной. Основная масса синтезированного органического вещества (в форме листьев, древесины и запасных питательных веществ в семенах, корнях) в конце концов попадает в почву, где эти вещества относительно медленно используются

гетеротрофами. Прежде чем будет использовано все это накопленное органическое вещество, могут пройти многие недели, месяцы, годы или даже тысячелетия (если речь идет об ископаемых видах топлива).

Следует учитывать, что организмы в природе живут для самих себя, а не для того, чтобы играть какую-либо роль в экосистеме. Свойства экосистем формируются благодаря совокупной деятельности входящих в нее растений и животных. Лишь учитывая это, мы можем понять ее структуру и функции, а также то, что экосистема реагирует на изменения факторов среды как единое целое.

Каждая экосистема характеризуется строго определенной *видовой структурой* - разнообразием видов (видовым богатством) и соотношением их численности или биомассы. Чем больше разнообразие условий среды обитания, тем больше количество видов в биоценозе. С этой точки зрения самыми богатыми по видовому разнообразию являются, например, экосистемы дождевых тропических лесов и коралловых рифов. Количество видов организмов, населяющих названные экосистемы, исчисляется тысячами. А в экосистемах пустынь существует всего несколько десятков видов.

Видовое разнообразие зависит также от возраста экосистем. В молодых развивающихся экосистемах, возникших, например, на безжизненном субстрате песчаных дюн, горных отвалом, пожарищ, количество видов крайне мало, однако по мере развития экосистем видовое богатство увеличивается.

Из общего числа видов, обитающих в экосистеме, обычно лишь немногие *доминируют*, т. е. имеют большую биомассу, численность, продуктивность или другие показатели значимости для экосистемы. Большая же часть видов в экосистеме характеризуется относительно низкими показателями значимости.

Не все виды одинаково влияют на свое биотическое окружение. Есть *виды-эдификаторы*, которые в процессе своей жизнедеятельности формируют окружающую среду для сообщества в целом и без них существование большинства других видов в экосистеме невозможно. Например, ель в еловом лесу является видом-эдификатором, так как создает своеобразный микроклимат, кислую реакцию почвы и специфические условия для развития других видов растений и животных, приспособленных к существованию в данных условиях. При смене елового леса (например, после пожара или вырубке) березовым экотоп на этой тер-

ритории существенно меняется, что определяет смену всего биологического сообщества экосистемы.

Названия экосистем образуются исходя из важнейших параметров, определяющих характерные условия среды обитания. Так, для наземных экосистем названия включают названия видов-эдификаторов или доминирующих видов растений (ельник-черничник, злаково-разнотравные степные экосистемы и др.).

Функционирование экосистем. Экосистемы являются открытыми системами т. е. такими, которые получают энергию и вещество извне и отдают их во внешнюю среду, поэтому важная составная часть экосистемы - внешняя среда (среда на входе и среда на выходе). Живые организмы, входящие в экосистемы, чтобы существовать, должны постоянно пополнять и расходовать энергию. В отличие от веществ, непрерывно циркулирующих по разным компонентам экосистемы, энергия может быть использована только один раз, т. е. энергия проходит через экосистему в виде линейного потока.

Функциональная схема экосистемы отражает взаимодействие трех основных компонентов, а именно: сообщества, потока энергии и круговорота веществ. Поток энергии направлен только в одну сторону. Часть поступающей солнечной энергии преобразуется биологическим сообществом и переходит на качественно более высокую ступень, трансформируясь в органическое вещество. Но большая часть энергии деградирует: пройдя через систему, выходит в виде низкокачественной тепловой энергии называемой тепловым стоком. Энергия может накапливаться в экосистеме, затем снова высвобождаться или экспортироваться, но она не может использоваться вторично. В отличие от энергии биогенные элементы и вода могут использоваться многократно.

Односторонний поток энергии является результатом действия законов термодинамики. *Первый закон термодинамики* (закон сохранения энергии) гласит, что энергия может переходить из одной формы (солнечный свет) в другую (потенциальная энергия химических связей в органическом веществе), но она не исчезает и не создается заново, т. е. общее количество энергии в процессах остается постоянным. *Второй закон термодинамики* (закон энтропии) гласит, что в любых процессах превращения энергии некоторая ее часть всегда рассеивается в виде недоступной для использования тепловой энергии, поэтому эффективность само-

произвольного превращения кинетической энергии (например, света) в потенциальную, (например, в энергию химических связей в органическом веществе) всегда меньше 100 %.

Живые организмы преобразуют энергию, и каждый раз, когда происходит превращение энергии (например, переваривание пищи), часть ее теряется в виде тепла. В конечном счете, вся энергия, поступающая в биотический круговорот экосистемы, рассеивается в виде тепла. Однако живые организмы, населяющие экосистемы, не могут использовать тепловую энергию для совершения работы. Для этой цели они используют энергию солнечной радиации, запасенную в виде химической энергии в органическом веществе, созданном продуцентами в процессе фотосинтеза.

Пища, созданная в результате фотосинтетической активности зеленых растений, содержит потенциальную энергию, которая при использовании ее гетеротрофными организмами превращается в другие формы химической энергии.

Большая часть солнечной энергии, попавшей на землю, превращается в тепловую и лишь очень небольшая её часть (в среднем для земного шара не менее 1%) превращается зелёными растениями в потенциальную энергию химических связей в органическом веществе.

Весь животный мир Земли получает необходимую потенциальную химическую энергию из органических веществ, созданных фотосинтезирующими растениями, и большую её часть в процессе дыхания переводит в тепло, а меньшую вновь преобразует в химическую энергию заново синтезируемой биомассы. На каждом этапе передачи энергии от одного организма к другому её значительная часть рассеивается в виде тепла.

Баланс пищи и энергии для отдельного живого организма можно представить так:

$$\mathcal{E}_п = \mathcal{E}_д + \mathcal{E}_пр + \mathcal{E}_пв,$$

где $\mathcal{E}_п$ – энергия потребления пищи;

$\mathcal{E}_д$ – энергия дыхания;

$\mathcal{E}_пр$ – энергия прироста;

$\mathcal{E}_пв$ – энергия продуктов выделения.

Выделение энергии в виде тепла в процессе жизнедеятельности у плотоядных животных (хищников) невелико, а у травоядных более значительно. Например, гусеницы некоторых насекомых, питающиеся растениями, выделяют в виде тепла до 70 % поглощенной с пищей энергии. Однако при всем разнообразии величин расходов энергии на жизнедеятельность максимальные траты на дыхание составляют около 90 % всей энергии, потребленной в виде пищи. Поэтому переход энергии с одного трофического уровня на другой в среднем принимаем за 10 % энергии, потребленной с пищей. Эта закономерность известна, как *правило десяти процентов*. Из этого правила следует, что цепь питания может иметь ограниченное количество уровней, обычно не более 4-5, пройдя через которые, почти вся энергия оказывается рассеянной.

Пищевые цепи. Внутри экосистемы созданное автотрофными организмами органическое вещество служит пищей (источником энергии и вещества) для гетеротрофов. Типичный пример: животное поедает растение. Это животное, в свою очередь, может быть съедено другим животным, и таким путем может происходить перенос энергии через ряд организмов - каждый последующий питается предыдущим, поставляющим ему сырье и энергию. Такая последовательность организмов называется пищевой цепью, а каждое ее звено - *трофическим уровнем*. Первый трофический уровень занимают автотрофы (первичные продуценты). Организмы второго трофического уровня называются первичными консументами, третьего - вторичными консументами и т. д.

Главное свойство цепи питания – осуществление биологического круговорота веществ и высвобождение запасенной в органическом веществе энергии.

Представители разных трофических уровней связаны между собой в пищевые цепи процессами односторонне направленной передачи биомассы (в виде пищи, содержащей запас энергии).

Пищевые цепи можно разделить на два основных типа:

1) *пастбищные цепи*, которые начинаются с зелёного растения и идут дальше к пасущимся животным, а затем к хищникам;

2) *детритные цепи*, которые начинаются с мелких организмов, питающихся мёртвым органическим веществом, и идут к мелким и крупным хищникам.

Пищевые цепи не изолированы друг от друга, они тесно переплетены в экосистеме образуя пищевые сети.

Экологические пирамиды. Для изучения взаимоотношений между организмами в экосистеме и для графического представления этих взаимоотношений удобнее использовать не схемы пищевых сетей, а экологические пирамиды, основанием которых служит первый трофический уровень (уровень продуцентов), а последующие уровни образуют этажи и вершину пирамиды. Экологические пирамиды можно отнести к трём основным типам:

1) *пирамиды численности*, отражающие численность организмов на каждом трофическом уровне;

2) *пирамиды биомассы*, характеризующие общую массу живого вещества на каждом трофическом уровне;

3) *пирамиды энергии*, показывающие величину потока энергии или продуктивность на последовательных трофических уровнях.

Для графического представления структуры экосистемы в виде пирамиды численности сначала подсчитывают число различных организмов на данной территории, сгруппировав их по трофическим уровням. После таких подсчетов становится очевидно, что численность животных прогрессивно уменьшается при переходе от второго трофического уровня к последующим. Численность растений первого трофического уровня тоже нередко превосходит численность животных, составляющих второй уровень. Два примера пирамид численности показаны на рис. 12.4, где длина прямоугольника пропорциональна количеству организмов на каждом трофическом уровне. Формы пирамид численностей сильно различаются для разных сообществ в зависимости от размеров составляющих их организмов (рис. 12.4).

В пирамидах биомасс учитывается суммарная масса организмов (биомасса) каждого трофического уровня, т. е. показаны количественные соотношения биомасс в сообществе (рис. 12.5). Цифрами обозначено количество биомассы в граммах сухого вещества на 1 м^2 . В этом случае размер прямоугольников пропорционален массе живого вещества соответствующего трофического уровня, отнесённой к единице площади или объёма. Однако величина биомасс трофического уровня не даёт никакого представления о скорости её образования (продуктивно-

сти) и потребления. Например, продуцентам небольших размеров (водоросли) свойственна высокая скорость роста и размножения (увеличение биомассы продуцентов), уравновешенная интенсивным потреблением их в пищу другими организмами (уменьшение биомассы продуцентов). Таким образом, хотя биомасса в конкретный момент может быть малой продуктивность при этом может быть высокой.

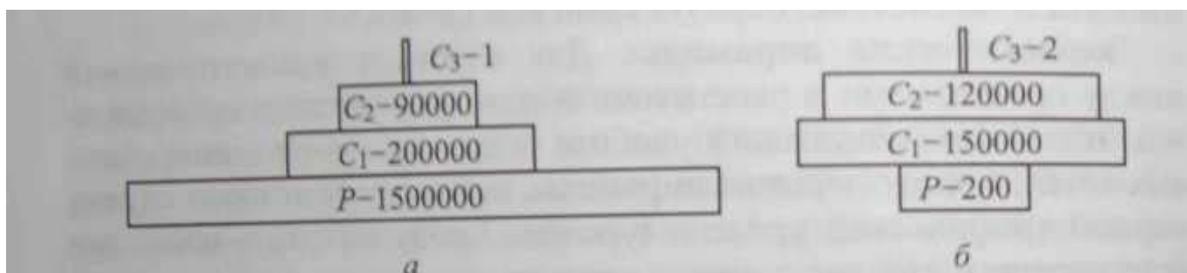


Рис. 12.4. Пирамиды численности организмов для степи летом (а) и для леса умеренной зоны летом (б):

P – продуценты; *C*₁ – первичные консументы (травоядные); *C*₂ – вторичные консументы (хищники); *C*₃ – третичные консументы (верховные хищники)

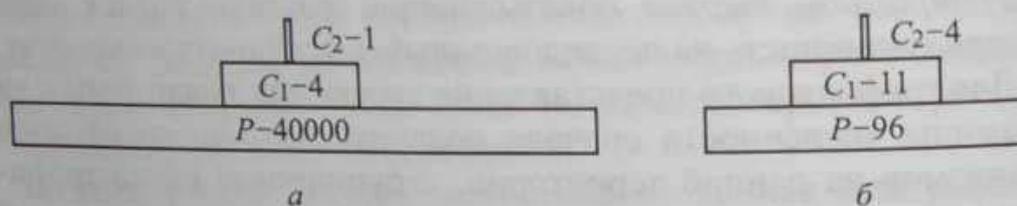


Рис. 12.5. Пирамиды биомасс для экосистем тропического леса (а) и озера (б)

Из трех типов экологических пирамид пирамида энергии дает наиболее полное представление о функциональной организации сообщества.

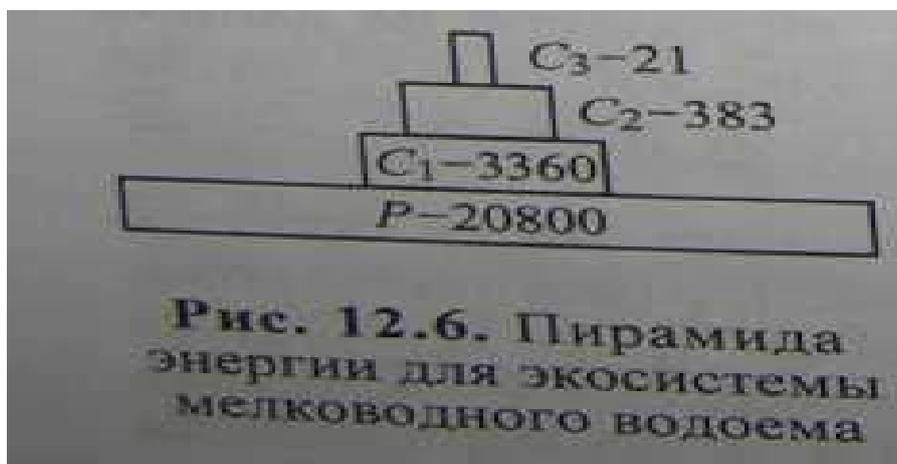


Рис. 12.6. Пирамида энергии для экосистемы мелководного водоема

В пирамиде энергии (рис. 12.6), где цифрами обозначено количество энергии (кДж/м² в год), размер прямоугольников пропорционален энергетическому эквиваленту, т. е. количеству энергии (на единицу площади или объема), про-

шедшей через определенный трофический уровень за конкретный период. Пирамида энергии отражает динамику прохождения массы пищи через пищевую (трофическую) цепь, что принципиально отличает её от пирамид численности и биомассы отражающих статическое состояние экосистемы (количество организмов в данный момент).

Продуктивность экосистем – образование органического вещества в виде биомассы животных, растений и микроорганизмов, составляющих биотическую часть экосистемы, в единицу времени на единицу площади или объема. Способность создавать органическое вещество (*биологическая продуктивность*) - одно из важнейших свойств организмов, их популяций и экосистем в целом.

За счет энергии света при фотосинтезе создается основная, или первичная, продукция экосистемы. **Первичная продуктивность – это скорость, с которой солнечная энергия усваивается продуцентами (растениями) в процессе фотосинтеза, накапливаясь в форме органических веществ.** Иными словами, это величина скорости прироста биомассы растений.

Принято выделять четыре последовательные стадии процесса производства органического вещества:

1) *валовая первичная продуктивность* - общая скорость фотосинтеза, т. е. скорость образования всей массы органических веществ продуцентами, включая и то количество органического вещества, которое было израсходовано продуцентами на поддержание деятельности (P_G);

2) *чистая первичная продуктивность* - скорость накопления органического вещества в растительных тканях за вычетом того органического вещества, которое было синтезировано растениями и использовано на поддержание своей жизнедеятельности (P_N);

3) *чистая продуктивность сообщества* - скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (животными и бактериями), в сообществе за конкретный период (например, прирост биомассы растений к концу летнего сезона).

4) *вторичная продуктивность* - скорость накопления энергии (в виде биомассы) на уровне консументов (животных), которые не создают органическое вещество из неорганических (как в случае фотосинтеза), а лишь используют орга-

нические вещества, полученные с пищей, часть из них расходуя на поддержание жизнедеятельности а остальные превращая в собственные ткани.

Высокие скорости продукции органического вещества встречаются при благоприятных факторах окружающей среды, особенно при поступлении дополнительной энергии извне, уменьшающей собственные затраты организмов на поддержание жизнедеятельности. Например, в прибрежной зоне моря дополнительная энергия может поступать в форме энергии приливов, приносящих мало-подвижным организмам частицы органического вещества.

Для наглядного представления региональных особенностей функционирования биосферы на рис. 12.7 приведена модель продуктивности крупных экосистем биосферы в виде турбины, работающей от потока солнечных лучей. Ширина колеса турбины для суши соответствует проценту суши в конкретной природной зоне, ширина колеса для моря взята произвольно. Лопатки этой модельной турбины (виды растений в конкретной экосистеме) воспринимают солнечный свет в процессе фотосинтеза и обеспечивают энергией все жизненные процессы в экосистемах. При этом сухопутная турбина имеет наибольшее количество лопаток (видов растений) в области тропиков, где 40 тыс. видами растений может вырабатываться годовая биологическая продукция в 10^{11} т органического вещества. В тропических экосистемах суши в среднем за год вновь создается около 800 г/м^2 углерода. Морские экосистемы (рис. 12.7) наиболее продуктивны в умеренных бореальных областях, где в год образуется около 200 г углерода на 1 м^2 .

Величина биологической продуктивности является определяющей для большинства систем классификации водоемов по уровню трофности, т. е. обеспеченности питательными веществами для развития биоценоза. Уровень трофности водоема определяется по содержанию основного фотосинтетического пигмента (хлорофилла), по величине общей биомассы и по скорости продукции органического вещества. Согласно этой классификации выделяют четыре типа озер: *олиготрофные, эвтрофные, мезотрофные и гипертрофные* (табл. 12.1).

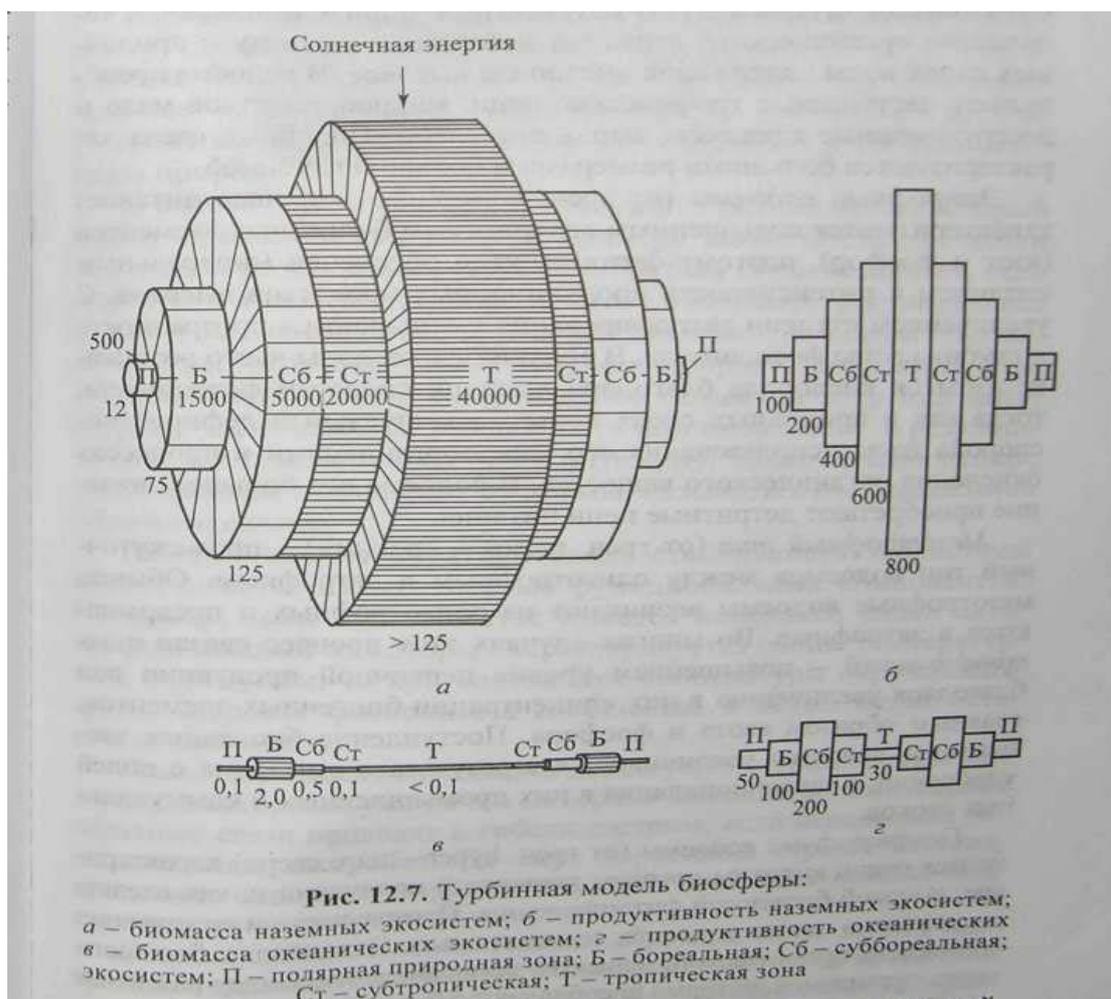
Таблица 12.1

Типы озер исходя из содержания хлорофилла, суммарной биомассы фитопланктона и скорости первичной продукции

Тип озера по уровню трофности	Содержание хлорофилла, мг/л	Биомасса фитопланктона, г/м ³	Первичная продукция, гС/м ² в год
Олиготрофный	<1,5-3	0,5-1	<12,5-25
Мезотрофный	3-12	1-4	25-100
Эвтрофный	12-48	4-16	100-400
Гипертрофный	>48	>16	>400

Источник: Китаев Н.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. С. 129.

В предложенной системе классификации уровень биологической продуктивности (трофность) водоёмов тесно связан с абиотическими факторами (глубина, цветность, прозрачность водоема, наличие кислорода в придонных слоях воды, кислотность воды (рН), концентрация биогенных элементов и пр.), с географическим положением водоема и характером водосборного бассейна.



Олиготрофные водоёмы (от греч.- незначительный, бедный) содержат незначительное количество биогенных веществ, имеют высокую прозрачность низкую цветность, большую глубину. Фитопланктон в них развит незначительно, так как автотрофные организмы не обеспечены минеральным питанием, главным образом азотом и фосфором. Синтезированное в водоёме органическое вещество (*автохтонное вещество*) практически полностью (до 90..95%) подвергается биохимическому распаду. В результате в донных отложениях количество органического вещества небольшое, поэтому в придонных слоях воды содержание кислорода высокое. В водоеме преобладают пастбищные трофические цепи, микроорганизмов мало и деструкционные процессы выражены слабо. Подобные озера характеризуются большими размерами и большой глубиной.

Эвтрофные водоемы (от греч. eutrophia хорошее питание) характеризуются повышенным содержанием биогенных элементов (азот и фосфор), поэтому фитопланктон обеспечен минеральным питанием и интенсивность продукционных процессов высокая. С увеличением степени эвтрофирования уменьшаются прозрачность и глубина зоны фотосинтеза. В верхних слоях воды часто возникает избыток кислорода благодаря высокой скорости фотосинтеза, тогда как в придонных слоях воды - значительный дефицит кислорода из-за использования его микроорганизмами в процессах окисления органического вещества. В водоеме все большее значение приобретают детритные цепи питания.

Мезотрофный тип (от греч. mesos - средний) - промежуточный тип водоемов между олиготрофным и эвтрофным. Обычно мезотрофные водоемы возникают из олиготрофных и превращаются в эвтрофные. Во многих случаях этот процесс связан с *эвтрофикацией* - повышением уровня первичной продукции вод благодаря увеличению в них концентрации биогенных элементов, главным образом азота и фосфора. Поступление биогенных элементов в водоемы увеличивается в результате смывания с полей удобрений, а также попадания в них промышленных и коммунальных стоков.

Гипертрофные водоемы (от греч. hyper - над, сверх) характеризуются очень высоким уровнем первичной продукции и, как следствие высокой биомассой фитопланктона. Прозрачность и содержание кислорода в водоемах минимальные. Содержание большого количества органического вещества приводит к массовому

развитию микроорганизмов, которые преобладают в биоценозе.

Гомеостаз экосистемы. Экосистемы, подобно входящим в их состав популяциям и организмам, способны к самоподдержанию и саморегулированию. *Гомеостаз* (от греч. подобный, одинаковый) – способность биологических систем противостоять изменениям и сохранять динамическое относительное постоянство состава и свойств. Нестабильность среды обитания в экосистемах компенсируется биоценотическими адаптивными механизмами.

Наряду с потоками энергии и круговоротами веществ экосистему характеризуют развитые информационные сети, включающие потоки физических и химических сигналов, связывающих все части системы и управляющих ею как единым целым. Поэтому можно считать, что экосистемы имеют и кибернетическую природу.

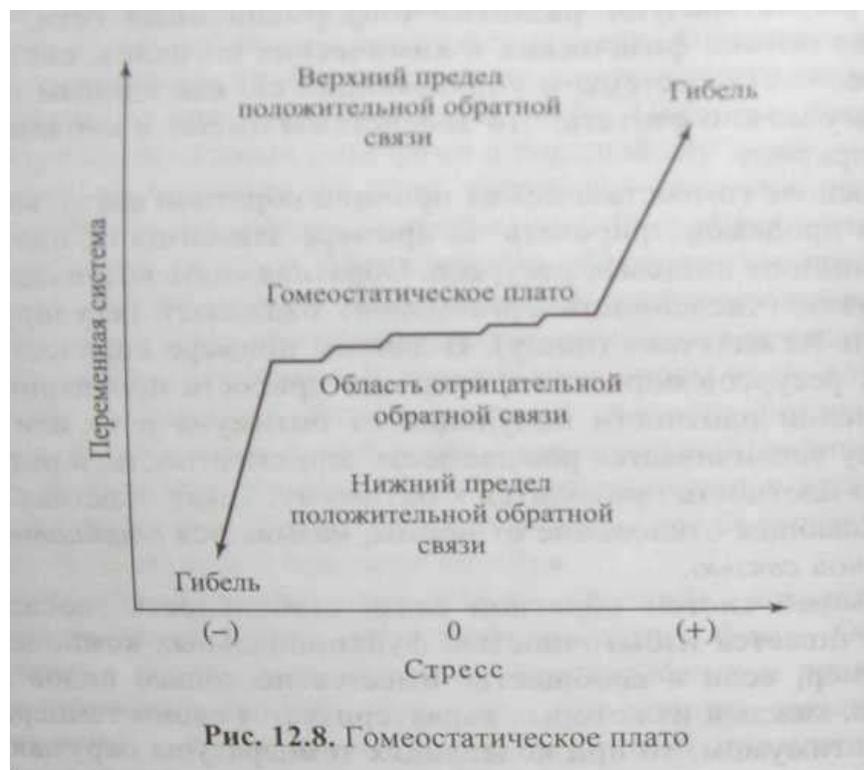
В основе гомеостаза лежит принцип обратной связи, который можно продемонстрировать на примере зависимости плотности популяции от пищевых ресурсов. Обратная связь возникает, если «продукт» (численность организмов) оказывает регулирующее влияние на «датчик» (пищу). В данном примере количество пищевых ресурсов определяет скорость прироста популяции. При отклонении плотности популяции от оптимума в ту или иную сторону увеличивается рождаемость или смертность, в результате чего плотность приводится к оптимуму. Такая обратная связь, уменьшающая отклонение от нормы, называется *отрицательной обратной связью*.

Помимо систем обратной связи стабильность экосистемы обеспечивается избыточностью функциональных компонентов. Например, если в сообществе имеется несколько видов автотрофов, каждый из которых характеризуется своим температурным оптимумом, то при колебаниях температуры окружающей среды скорость фотосинтеза сообщества в целом будет оставаться неизменной.

Гомеостатические механизмы действуют в определенных пределах, за которыми уже ничем не ограничиваемые положительные обратные связи приводят к гибели системы, если невозможна дополнительная настройка. По мере нарастания стресса система, продолжая оставаться управляемой, может оказаться неспособной к возвращению на прежний уровень.

Область действия отрицательной обратной связи можно изобразить в виде гомеостатического плато (рис. 12.8). Оно состоит из ступенек; в пределах каждой ступеньки действует отрицательная обратная связь. Переход со ступеньки на ступеньку может произойти в результате изменения в «датчике». Так, увеличение или уменьшение количества пищевых ресурсов переводит гомеостаз на другой уровень.

В гомеостаз вовлекаются не только живые организмы и продукты их жизнедеятельности, но и неорганические компоненты природной среды. Мы знаем, что абиотические факторы контролируют жизнедеятельность организмов. В свою очередь, организмы различными способами влияют на абиотическую среду



В экологии, как и в целом в естествознании, взаимоотношение частей и целого (отдельных популяций, составляющих биоценоз и экосистему в целом) в значительной степени зависит от уровня сложности рассматриваемой системы. Одну крайность представляют экосистемы, находящиеся в суровых условиях среды (экосистемы арктической тундры и горячих источников), где биотических компонентов мало. Такие системы характеризуются, малым видовым разнообразием и их общие свойства можно изучить и понять на основе изучения составляющих их компонентов (организмы, популяции). В то же время для сложных экосистем (лесная экосистема, озеро, биосфера), состоящих из многих тысяч ком-

понентов, совокупность биотических элементов проявляет синергические (или взаимообусловленные) свойства, которые никак нельзя свести к сумме свойств элементов, их составляющих. В данном случае *свойства экосистемы определяются не только суммой свойств составляющих ее популяций разных организмов, но и общесистемными свойствами, возникающими при взаимодействии биотических компонентов*. В сложных многовидовых биоценозах невозможно отдельно изучать каждый биологический компонент отдельности. Например, в 1 см³ плодородной почвы обитает несколько миллиардов почвенных бактерий. Поэтому в таких природных системах на первое место по значимости выступают интегральные свойства экосистем - суммарная биомасса, продукция и деструкция на конкретных трофических уровнях. Без знания количественных закономерностей изменения интегральных показателей состояния экосистемы нельзя описать поведение всей системы во времени и прогнозировать ее развитие.

Контрольные вопросы и задания

1. Что входит в понятие экосистемы?
2. Назовите основные компоненты, входящие в состав любой полноценной экосистемы. Какую роль в экосистеме играют эти компоненты?
3. Что такое пищевая цепь и как она связана с трофической структурой экосистемы?
4. Охарактеризуйте механизм гомеостаза экосистемы.

13. РАЗВИТИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

Отдельные виды организмов не только сами приспосабливаются к экологической среде, но и в ходе своей совместной деятельности в экосистемах приспособляют геохимическую среду экосистемы к своим потребностям. Таким образом, сообщества организмов и среда их обитания развиваются как единое целое.

Развитие экосистемы, или экологическая сукцессия (от лат. *successio* - преемственность, наследование), - это изменение во времени видовой структуры и биоценологических процессов. В ходе сукцессии изменяется окружающая среда под действием сообщества живых организмов и в экосистемах одни виды заменяются другими. В отсутствие внешних нарушающих процессов сукцессия является направленным, закономерным и предсказуемым процессом изменения экосистемы в сторону большей стабильности и сбалансированности. Сукцессия - результат изменения развивающимся сообществом организмов физико-химической среды и взаимодействий типа «конкуренция-сосуществование» на популяционном уровне. Таким образом, сукцессия контролируется сообществом, несмотря на то, что физическая среда определяет характер и скорость изменений, а часто и ограничивает пределы развития. Если сукцессионные изменения определяются преимущественно внутренними взаимодействиями, то говорят об *аутогенной* (т. е. саморазвивающейся) *сукцессии*. Если же на процессы сукцессионных изменений регулярно воздействуют или контролируют их факторы окружающей среды (штормы, пожары и т. д.), то такую сукцессию называют *аллогенной* (*порожденной извне*).

Процесс сукцессии начинается в результате изменений фундаментальных свойств среды обитания, происходящих под влиянием комплекса факторов. Такие факторы могут быть естественными (отступление ледников, наводнения, землетрясения, извержения вулканов, пожары) или антропогенными (расчистка лесных угодий, распашка участков степи, создание водохранилищ, загрязнение среды).

Обычно различают первичные и вторичные, автотрофные и гетеротрофные, аллохтонные и автохтонные сукцессии.

Первичные сукцессии начинаются всякий раз, когда заселяются пустынные места обитания. Это могут быть голые скалы, остывшая вулканическая лава, песчаные дюны. Первыми, как правило, на таких пустынных местах появляются ли-

шайники, за ними следуют мхи и неприхотливые однолетние травы, затем двухлетние и многолетние растения, кустарники и, наконец, - деревья. Течение этого процесса определяется скоростью накопления почвенного слоя и повышения влажности.

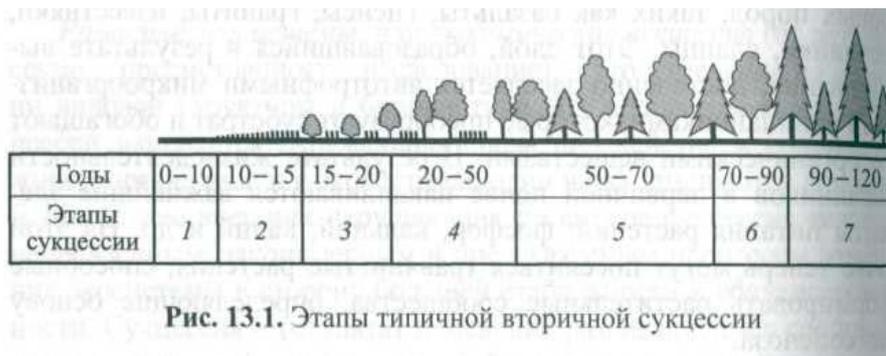
Таким образом, первичная сукцессия на суше начинается с почвообразования, проявляющегося в физическом и химическом выветривании, ведущем к разрыхлению поверхности материнских горных пород, таких как базальты, гнейсы, граниты, известняки, песчаники, сланцы. Этот слой, образовавшийся в результате выветривания, постепенно заселяется автотрофными микроорганизмами и лишайниками, которые преобразуют субстрат и обогащают его органическими веществами. В результате жизнедеятельности лишайников в первичной почве накапливаются важнейшие элементы питания растений: фосфор, кальций, калий и др. На этой почве теперь могут поселиться травянистые растения, способные сформировать растительные сообщества, определяющие основу биогеоценоза.

Примером первичной сукцессии могут служить исторически зафиксированные процессы восстановления экосистемы на острове Кракатау в Индонезийском море. В ходе катастрофического извержения вулкана Кракатау в конце XIX в. большая часть острова была уничтожена взрывом, а сохранившаяся часть была покрыта 60-метровым слоем лавы и горячего вулканического пепла. Все живое на острове было уничтожено. Год спустя прибывшие на остров ученые обнаружили несколько видов травянистой растительности и один вид пауков. Через 25 лет на острове обитало уже 202 вида животных и растений; через 36 лет - 621 вид. А через 50 лет там насчитывалось 880 видов организмов, к тому же на острове рос молодой тропический лес.

Вторичная сукцессия. Характерна, для мест, где ранее существовали биологические сообщества, которые были частично или полностью разрушены в результате естественных (пожары, наводнения) либо антропогенных причин (вырубки, загрязнение среды), но в почве или донных отложениях сохранились семена растений, споры бактерий и грибов.

Примером вторичных сукцессионных изменений может служить зарастание заброшенных сельскохозяйственных угодий или восстановление лесных массивов (рис. 13.1). В лесной зоне на и исходно безжизненной территории сначала появ-

ляются организмы - пионеры, например мхи или корковые водоросли, лишайники. За ними следует растительность, представленная в основном травами, а затем появляются кустарники и деревья-пионеры (береза, осина ива). Для последних характерен быстрый рост. Под пологом этих деревьев создаются условия для поселения теневыносливой ели, которая постепенно догоняет в росте стареющие лиственные деревья и выходит в верхний ярус, вытесняя светолюбивые виды деревьев и кустарников. Соответственно на каждой стадии сукцессии меняется и животный мир.



Смена стадий сукцессии, которые называются сериями, идет в соответствии с определенными правилами. Так, каждая предыдущая стадия сукцессии подготавливает среду для возникновения последующей. При этих изменениях в экосистеме постепенно возрастают видовое многообразие и ярусность. Вслед за растениями в сукцессию вовлекаются представители животного мира, а развивающийся биоценоз становится более богатым видами. Цепи питания в нем усложняются, развиваются и превращаются в сети питания.

Различают также автотрофные и гетеротрофные сукцессии. *Автотрофная сукцессия* характерна для случаев заселения новых территорий или создания водохранилищ. Она начинается с несбалансированного сообщества, в котором величина суммарной валовой первичной продуктивности (P) превышает величину суммарного дыхания сообщества (R), т. е. на начальной стадии автотрофной сукцессии скорость образования органического вещества в ходе фотосинтеза существенно превышает скорость его расходования в процессе дыхания всех обитающих в экосистеме организмов ($P / R > 1$). По мере развития экосистемы скорости их процессов сравниваются (рис. 13.2) и отношение P/R стремится к 1, что свидетельствует о сбалансированности процессов синтеза и распада органического

вещества в зрелой стадии развития экосистемы. Как видно из рис. 13.2, общие закономерности автотрофной сукцессии можно наблюдать и в природной лесной экосистеме, и в условиях лабораторных микроэкосистем (микрокосмов): величины чистой первичной продуктивности органического вещества возрастают на ранних стадиях развития сообщества, но убывают - на поздних. Однако скорость изменений этих важнейших интегральных характеристик состояния экосистемы (продукция, деструкция) и время, необходимое для достижения стабильного состояния экосистем, варьируют.

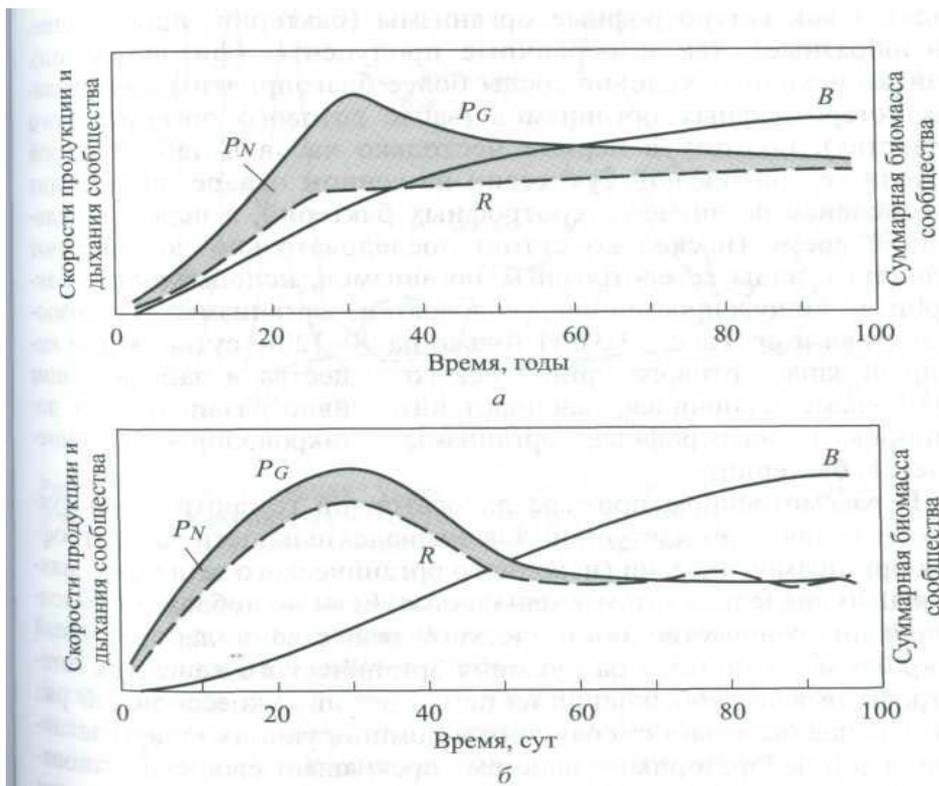


Рис. 13.2. Примеры автотрофных сукцессий:

а - в лесу; б - в лабораторных условиях; P_G - валовая продуктивность; P_N - чистая продуктивность; R - суммарное дыхание сообщества; B - суммарная биомасса

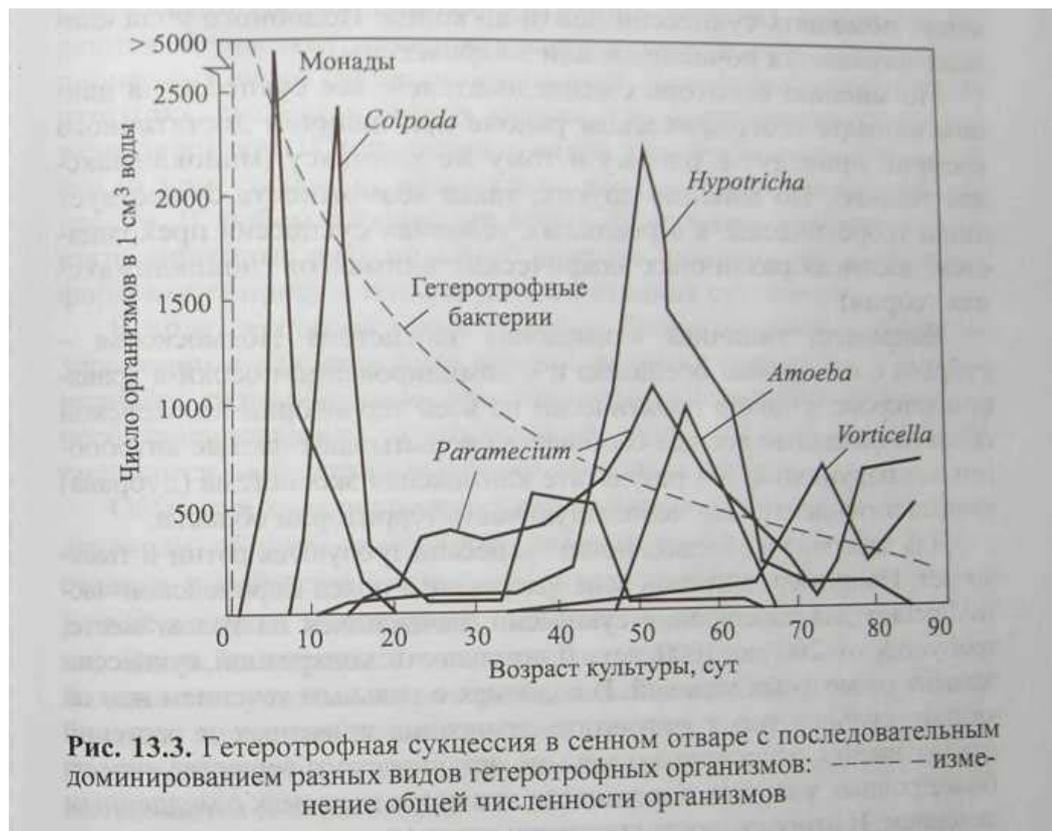
Гетеротрофная сукцессия начинается тогда, когда существует запас доступного гетеротрофным организмам мёртвого органического вещества, и затраты на дыхание сообщества (R) на начальной стадии развития сообщества преобладают над валовой первичной продуктивностью ($P/R < 1$). Этот тип сукцессии наблюдается в условиях, когда в начале сукцессии продуценты практически отсутствуют, а доминирующими в биоценозе являются гетеротрофы.

Примером подобной сукцессии может служить развитие сообщества водных организмов в лабораторных условиях на сенном отваре (рис. 13.3). В начальный момент лабораторной модели сукцессии в стерильный сенной отвар вносят одну каплю воды из водоема (пруда, реки, озера). В этой исходной капле воды находятся как гетеротрофные организмы (бактерии, простейшие, ракообразные), так и первичные продуценты (фитопланктон). Однако исходные условия среды более благоприятны для развития гетеротрофных организмов (запас готового органического вещества), поэтому в первые несколько часов в лабораторной модели гетеротрофной сукцессии на сенном отваре происходит интенсивное развитие гетеротрофных бактерий, а через определенное время (несколько суток) последовательно доминируют различные виды гетеротрофных организмов, использующих бактерии в пищу: простейшие, коловратки, организмы микрозоопланктона и др. (рис. 13.3). И только на 90-120-е сутки, когда исходный запас готового органического вещества в лабораторном микрокосме закончился, начинают интенсивно развиваться и доминировать автотрофные организмы (микроводоросли, сине-зеленые бактерии).

В рассмотренном примере лабораторной гетеротрофной сукцессии количество доступной для жизнедеятельности гетеротрофных организмов энергии (исходного органического вещества) максимально вначале, а затем уменьшается. Если не добавлять дополнительное количество органического вещества в лабораторный микрокосм, то по мере разрушения органического вещества гетеротрофами и высвобождения из него энергии сукцессионный ряд (ряд последовательно сменяющихся доминирующих видов) заканчивается и лабораторная экосистема прекращает своё существование: все организмы погибают или переходят в покоящиеся стадии (споры). В природных экосистемах гетеротрофные сукцессии заканчиваются не распадом биологического сообщества, а переходом к автотрофной фазе сукцессии.

Другим примером гетеротрофной сукцессии может быть река, загрязненная большим количеством органических отходов (стоки с ферм). Избыточное органическое вещество, поступающее в экосистему, активно используется гетеротрофами. При этом в результате жизнедеятельности автотрофных организмов создается значительно меньше органического вещества, чем его разрушается в экоси-

стеме.



Процесс сукцессионных изменений в экосистеме всегда направлен в сторону выравнивания или сбалансированности процессов новообразования и разрушения органического вещества. Если процесс сукцессионных изменений не нарушается вмешательством извне (вырубки, пожары, выпас скота, антропогенное воздействие), то в конце концов образуется устойчивое *климаксное сообщество*. Дальнейшие изменения в таком сообществе происходят, и оно может существовать неопределенно долгое время *Климакс экосистем* определяется местными климатическими условиями. При отсутствии лимитирующих факторов все сукцессионные изменения заканчиваются климаксом. Тайга, тундра, саванна,

степь. Пустыня – примеры климаксных экосистем, характерных для конкретных природных зон. Однако реальная возможность произрастания тех или иных видов в данном климате зависит от почвенных условий. Поэтому, хотя все сукцессии в данной климатической области стремятся к одному и тому же климаксу, тип почвы, рельеф местности, расположение водоемов могут помешать сукцессии дойти до конца. Подобного рода климакс, называется почвенным или *эдафическим*.

По мнению некоторых исследователей, все сукцессии в данном климатогеографическом районе при наличии достаточного времени приведут к одному и тому же климаксу (моноклимаксная теория). По мнению других, такая возможность существует лишь теоретически, а в реальных условиях сукцессия прекращается, достигая различных эдафических климаксов (поликлимаксная теория).

Например, типичная климаксная экосистема Подмосковья - дубрава с подлеском орешника и с доминированием осоки в травяном покрове. Однако практически на всей территории Московской области наземные лесные сообщества испытывают частые антропогенные нарушения, и в результате климаксная экосистема (дубрава) занимает относительно небольшую часть территории области.

Для завершения большинства сукцессии требуются сотни и тысячи лет. Например, в лесной зоне умеренного пояса Европейской части России для завершения сукцессии, начавшихся на голом месте, требуется от 200 до 1000 лет. Длительность конкретной сукцессии зависит от местных условий. В водоемах с сильным течением или на крутых склонах гор в результате отмирания животных и растений откладывается относительно меньше органического вещества, чем на более ровных участках поверхности земли и в водоемах с медленным течением. В итоге скорость сукцессии резко замедляется.

В других случаях на сообщество периодически действуют внешние силы, нарушающие течение сукцессии (пожары, вырубки, наводнения и т. д.). Каждое такое нарушение отбрасывает сообщество в своем развитии на предыдущие стадии сукцессии. Если при этом растительность и почва не полностью уничтожены, то начинаются вторичные сукцессии. В итоге климаксное сообщество будет занимать лишь небольшие участки территории, где никаких катаклизмов и антропогенных вмешательств не происходило.

Изменение сообщества в ходе сукцессии. По мере замены одного биоло-

гического сообщества другим в ходе сукцессии, прежде всего изменяется его видовой состав. Среди видов различают виды доминанты (господствующие в сообществе) и виды-эксплеренты, которые конкурентно слабее доминантов и тем не менее быстро захватывают участки экосистемы с нарушенным растительным покровом.

Среди номинантов выделяют виды-эдификаторы, в наибольшей степени формирующие характерную для сообщества среду. Существуют еще виды-ценофобы (виды-сорняки), которые поселяются на участках, лишенных растительности, еще до появления пионерных видов сукцессионного ряда. Ценофобы поселяются на пустырях, свалках и других местах, где растительность уничтожена человеком. От пионерных видов ценофобы отличаются тем, что их присутствие не обязательно для последующих стадий сукцессии. В любом сообществе время от времени появляются участки, лишенные растительного покрова, поэтому растения ценофобы могут присутствовать на всех стадиях сукцессии.

В ходе сукцессии более простые биологические сообщества, характерные для начальных стадий развития сукцессии (с низким видовым разнообразием, простой пространственной структурой, несбалансированным приходом и расходом энергии и вещества), сменяются сообществами с более сложной структурой.

Обычно в ходе сукцессии увеличивается биомасса сообщества, сложным образом изменяется видовое разнообразие (на ранних стадиях оно быстро растет, на промежуточных достигает одного или нескольких максимумов, а по достижении климакса снижается). Виды, являющиеся r -стратегами, первыми захватывают освободившиеся участки территорий с избытком пищевых ресурсов, но позднее, когда свободных ресурсов становится меньше и усиливаются конкурентные взаимоотношения между видами, r -стратеги вытесняются K -стратегами.

Рассмотрим важнейшие закономерности изменения во времени, т. е. динамики, основных интегральных структурно-функциональных характеристик состояния экосистемы (валовой и чистой первичной продуктивности P_G и P_N) деструкции (R), биомассы (B), численности видов (N) в ходе *автотрофной аутогенной* (саморазвивающейся) сукцессии. Причем изменения состояния экосистемы в ходе автотрофной сукцессии представим в отношении энергетического баланса, круговоротов веществ, видовой структуры сообщества и стабильности экосистемы

в целом.

Изменения в энергетическом балансе:

- возрастают биомасса (B) и количество мертвого органического вещества (детрита);
- возрастает валовая первичная продуктивность (P_G) - скорость образования органического вещества в ходе фотосинтеза;
- увеличивается дыхание сообщества (R) - скорость разрушения органического вещества в ходе процессов жизнеобеспечения организмов;
- уменьшается величина чистой продуктивности (P_N) органического вещества ($P_N = P_G - R$);
- увеличивается сбалансированность процессов синтеза и распада органического вещества - величина коэффициента (P_N/R) стремится к 1.

Изменения круговоротов биогенных элементов:

- становятся все более замкнутыми в пределах экосистемы (т. е. повышается эффективность трансформации и повторного использования веществ в сообществе);
- увеличиваются время оборота и запас биогенных элементов в экосистеме (скорость оборота элементов снижается, так как большая их часть заключена в химически связанном виде в составе биомассы или детрита).

Изменения видовой структуры сообщества:

- становится другим видовой состав сообщества (пионерные виды, первыми заселяющие безжизненные территории, подготавливают условия для существования последующих группировок видов);
- возрастает видовое разнообразие;
- на ранних стадиях развития экосистемы доминируют r -стратеги (с J -образным характером роста популяции), а на более поздних стадиях - K -стратеги (с S -образным характером роста популяции);
- кроме того, усложняются и удлиняются жизненные циклы организмов, составляющих биоценоз экосистемы.

Изменение стабильности экосистемы выражается в возрастании устойчивости биологического сообщества к различным воздействиям извне в результате адаптивных структурных изменений (изменения видовой структуры направлены

на уменьшение негативного воздействия).

Существует классификация различных типов экосистем, основанная на интенсивности *метаболизма сообществ* (совокупности процессов использования вещества и энергии в ходе активной жизнедеятельности биосистем) и на сопоставлении сбалансированности интегральных процессов новообразования и разрушения органического вещества.

На ранних стадиях сукцессии скорость валовой первичной продуктивности (P) и общего дыхания сообщества (R) существенно различаются: $P/R > 1$ при *автотрофной сукцессии* и $P/R < 1$ при *гетеротрофной сукцессии*. В обоих случаях величина P/R приближается к единице по мере развития сукцессии. Иными словами, в зрелой, климаксной, экосистеме наблюдается динамическое равновесие между связанной энергией (продуктивность органического вещества - P) и энергией, затрачиваемой на поддержание жизнедеятельности организмов (т. е. суммарным дыханием биологического сообщества). Таким образом, отношение P/R является функциональным показателем стадии сукцессии или относительной зрелости экосистемы.

Графически равновесные состояния экосистем при разных уровнях продуктивности и дыхания в сообществах можно изобразить в виде прямой, составляющей угол 45° с осями координат P и R (рис. 13.4). На диаграмме показано положение разных экосистем в системе классификации, основанной на метаболизме сообществ.

Выше диагональной линии на рис. 13.4 располагается область существования автотрофных сообществ, так как валовая первичная продуктивность (P) превышает дыхание (R) и P/R больше единицы.

Справа от диагонали видим обратную ситуацию: P/R меньше единицы, и там располагаются гетеротрофные сообщества. В последнем случае биотические сообщества существуют за счет органического вещества, получаемого извне, или за счет его предварительного накопления. Стрелками показано направление сукцессионных изменений в экосистемах в ходе автотрофной и гетеротрофной сукцессии. Климаксные сообщества, расположенные вдоль диагонали, в среднем за год потребляют примерно столько же энергии, сколько создают ее за это же время, поэтому их можно считать метаболическими климаксами.

Климатические сообщества обладают большим видовым разнообразием, сложной трофической структурой, сбалансированностью процессов продукции и распада органического вещества, поэтому они способны в гораздо большей степени противостоять негативным воздействиям физических факторов (температура, влажность) и даже некоторым видам химических загрязнений по сравнению с сообществами на ранних сукцессионных стадиях. Однако молодое биотическое сообщество способно продуцировать новую биомассу с гораздо большей скоростью, чем сообщество, находящееся в стадии климакса. Поэтому с экономической точки зрения наиболее эффективно использование возобновимых природных ресурсов (биомассы) в молодых развивающихся экосистемах, находящихся на ранних стадиях сукцессии.

Устойчивость биотического сообщества, находящегося на стадии климакса, его способность противостоять воздействию физических факторов являются очень важными и весьма желательными для человека свойствами. Во имя нашего собственного благополучия большинство природных ландшафтов должно быть сохранено вместе с сформировавшимися на протяжении веков биологическими сообществами.



Рис. 13.4. Положение разных сообществ в системе классификации, основанной на их метаболизме

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение экологической сукцессии. Какие бывают виды сукцессии?
2. Приведите примеры первичных и вторичных, автотрофных и гетеротрофных сукцессии.
3. Какие изменения происходят в экосистемах в ходе сукцессионного развития?
4. Охарактеризуйте климаксную экосистему.

14. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Нормирование антропогенных воздействий на окружающую среду. В настоящее время хозяйственная деятельность, человека по своим масштабам стала соизмеримой с процессами, происходящими в природе. Совершенно очевидно, что человечество не может бесконтрольно продолжать загрязнять окружающую среду, но оно не может и прекратить или хотя бы снизить темпы хозяйственной деятельности. Единственно приемлемый путь выхода из сложившейся ситуации - установление рациональных, экологически приемлемых норм, определяющих отношение к природе. Рациональное отношение не сводится к охране природы. Оно включает и использование природных ресурсов без ущерба для установившихся структурно-функциональных связей между составными частями экосистем и обеспечение их возобновления. Таким образом, в наше время (различных воздействий на природу) требуются всесторонняя регламентация, количественные оценки её состояния и законодательное регулирование величины антропогенной нагрузки.

Антропогенное воздействие химических загрязняющих веществ является существенным фактором риска для здоровья человека и функционирования природных экосистем. Приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха, воды водоемов и почвы в настоящее время являются практически одни и те же вещества: тяжелые металлы, хлорированные и полиароматические углеводороды (ПАУ), диоксины. Находясь в окружающей среде даже на уровнях, не вызывающих выраженных токсических эффектов, эти созданные человеком загрязняющие вещества (ксенобиотики) оказывают хроническое действие, приводящее к снижению иммунитета и нарушению адаптации организма, в первую очередь у детей и людей с повышенной чувствительностью.

На рис. 14.1 приведены данные об ориентировочной численности населения, проживающего на территориях Российской Федерации с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха некоторыми вредными веществами. Из представленного рисунка видно, что более 22 млн чел. проживает на территориях с повышенным содержанием мелкодисперсной пыли с диаметром 5... 10 мкм. На втором мес-

те по массовости воздействия находится бенз(а)пирен (13,9 млн чел.), на третьем - фенолы (более 10 млн чел.).



Однако степень экологического риска воздействия химических антропогенных факторов на природную среду и здоровье населения зависит не только от их концентрации в различных природных средах, но и целого комплекса параметров: абсолютной токсичности соединений; степени их накопления в отдельных компонентах экосистем и на разных трофических уровнях; скорости разрушения и выведения их из организма; распространенности в окружающей среде и особенности воздействия на различные уровни организации живого вещества.

В основе современного законодательства государств, в том числе и России, регулирующего антропогенные нагрузки на окружающую природную среду и обеспечивающего безопасность среды для человека, лежит система *экологического нормирования*.

В соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации нормируется качество окружающей природной среды, устанавливаются предельно допустимые нормы воздействия, гарантирующие экологическую безопасность населения сохранение генофонда, обеспечивающие рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности (см., в частности, Закон РФ «Об охране окружающей среды» 2002 г., п. 4, ст. 25). *Под антропогенным воздействием в российском законодательстве понимается деятельность, связанная с реализацией экономических рек-*

реакционных, культурных интересов и вносящая физические, химические, биологические изменения в природную среду.

Законодатель подразумевает наложение граничных условий (нормативов, регламентов) как на само воздействие, так и на факторы среды, отражающие и воздействие, и реакции экосистем.

Экологическое нормирование предполагает учет допустимой нагрузки на экосистему. Допустимой считается такая нагрузка, под воздействием которой отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений и, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведет к ухудшению качества окружающей среды.

Как *экологическое*, так и санитарно-гигиеническое нормирование основано на знании воздействий, оказываемых разнообразными факторами на живые организмы и здоровье населения. Одним из важных понятий в токсикологии и в нормировании качества окружающей среды является понятие вредного вещества.

Основным свойством, определяющим качества загрязнителей, считается их вредность по отношению к человеку, отдельным сельскохозяйственным организмам (растениям и животным), биотической компоненте экосистемы или к биосфере в целом. Иными словами, *вредность рассматривается как свойство загрязнителей, вызывающее нежелательные, опасные или губительные изменения в живом*. В свою очередь, вредность определяется на основе следующих критериев:

- 1) потенциальная токсичность, устанавливаемая в токсикологических экспериментах;
- 2) устойчивость в окружающей среде, связанная с химическим и физическим строением загрязнителей скоростью их биологического разрушения или выведения из экосистемы в процессе самоочищения;
- 3) биоаккумулятивность, т. е. способность накапливаться в тканях и органах живых организмов;
- 4) распространенность загрязнителей в окружающей среде, связанная, прежде всего с основными путями их транспорта;
- 5) масштаб производства загрязнителей человеком, связанный с их долевым содержанием в отходах промышленности и сельского хозяйства.

Нормативы качества окружающей среды и основных продуктов питания бази-

руются на концепции *пороговости воздействия*

Нормативы, ограничивающие вредное воздействие, устанавливаются и утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов. В основе нормирования лежит понятие *предельно допустимой концентрации*.

Предельно допустимая концентрации (ПДК) - максимальная концентрация загрязняющего химического вещества в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не вызывает негативных последствий для живых организмов (в том числе человека) и их потомков.

В первую очередь были разработаны нормативы условий среды, приемлемых для человека. Тем самым было положено начало работам в области санитарно-гигиенического нормирования. Однако человек не самый чувствительный из биологических видов, и принцип «Защищен человек - защищены и экосистемы» в сущности, неверен.

Экологическое нормирование предполагает учет допустимой нагрузки на экосистему.

Допустимой считается такая антропогенная нагрузка на экосистему, под воздействием которой отклонения от нормального состояния системы не превышают естественных изменений и, следовательно, не вызывают нежелательных последствий у живых организмов и не ведут к ухудшению качества среды.

Следует отметить, что к настоящему времени не только в России, но и в других странах известны лишь единичные попытки учёта допустимой экологической нагрузки, что вызвано в первую очередь чрезвычайной сложностью природных экологических систем и необходимостью концептуального решения вопроса о том, какие показатели состояния экосистем должны использоваться при экологическом нормировании. Таким образом, существующие нормативы в подавляющем большинстве являются санитарно-гигиеническими, т. е. ориентированы на сохранение здоровья населения.

Санитарно-гигиеническое нормирование устанавливает концентрации

вредного вещества в единице объема (воздуха, воды), массы (пищевых продуктов, почвы) или поверхности (кожа работающих), которые при воздействии в течение определенного времени почти не влияют на здоровье человека и не вызывают неблагоприятных последствий у его потомства.

Таким образом, *санитарно-гигиеническое нормирование* охватывает все среды и различные пути поступления вредных веществ в организм, хотя редко отражает комбинированное действие (одновременное или последовательное действие нескольких веществ при одном и том же пути поступления). Кроме того, оно не всегда учитывает эффекты комплексного поступления вредных веществ в организм различными путями и с различными средами - с воздухом, водой, пищей, а также через кожные покровы, совокупного воздействия всего многообразия физических, химических и биологических факторов окружающей среды. Существуют лишь ограниченные перечни веществ, обладающих эффектом суммации при их одновременном содержании в атмосферном воздухе.

В результате производственной деятельности человечества техногенные изменения в биосфере опережают адаптивные возможности человеческого организма и природных экосистем. Происходят глубокие изменения в разных средах обитания: воздушной, водной, почвенной, организменной. Возникает вопрос: токсические поражения, какой из сред наиболее негативно сказываются на здоровье человека и на состоянии экосистем? Проведенные исследования показали, что именно последствия антропогенного воздействия на атмосферу становятся причиной глобальных изменений в биосфере. К такого рода негативным последствиям относятся:

- 1) парниковый эффект и глобальное изменение климата, разрушение озонового слоя, проникновение губительного жесткого ультрафиолетового излучения, выпадение кислотных дождей и радиоактивных осадков, трансграничные переносы загрязняющих веществ и др.;
- 2) одновременное нахождение в атмосфере множества разнообразных загрязняющих веществ, увеличивающих риск возникновения опасных негативных эффектов у отдельных живых организмов и целых экосистем вследствие усиления комбинированного воздействия (синергизма);
- 3) облегченный доступ загрязняющих веществ в организм человека (лег-

кие, затем кровь) непосредственно из атмосферного воздуха в процессе дыхания (20 000 л в сутки) (установлено, что загрязняющее вещество, поступающее в организм человека ингаляционным путем, т. е. в процессе дыхания, действует в 80-100 раз сильнее, чем при поступлении через желудочно-кишечный тракт);

4) трудность защиты от ксенобиотиков (можно не употреблять загрязненные продукты питания и недоброкачественную воду, но нельзя избежать влияния загрязненного воздуха).

Нормирование качества воздуха. Под качеством атмосферного воздуха понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}) концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонения в состоянии здоровья людей (табл. 14.1).

Как следует из определения, ПДК_{рз} представляет собой норматив, ограничивающий воздействие вредного вещества на взрослую работоспособную часть населения в течение периода, установленного трудовым законодательством.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК_{мр}) - концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 мин рефлекторных реакций в организме человека.

Таблица 14.

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{рз} , мг/м ³	ПДК _{мр} , мг/м ³
Азота оксид (II)	0,06	0,6	2,0
Кобальта сульфат	0,0004	0,001	0,05
4-хлоранилин	0,01	0,04	0,30

Понятие ПДК_{мр} используется при установлении научно-технических нормативов - предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. В результате рассея-

ния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе санитарно-защитной зоны предприятия концентрация вредного вещества в любой момент не должна превышать $\text{ПДК}_{\text{мр}}$.

Предельно допустимая концентрация среднесуточная ($\text{ПДК}_{\text{сс}}$) _ это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании.

Таким образом, $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Именно величина $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ может служить эталоном для оценки состояния воздушной среды в жилой зоне (зона населённых пунктов, предназначенная для размещения жилого фонда и общественных зданий). Учитывая, что существует несколько видов ПДК воздушной среды, совершенно недопустимо говорить о ПДК воздуха вообще, не уточняя, о каком нормативе идет речь.

В последнее время растет число публикаций, описывающих отдельные эффекты действия загрязняющих веществ на отдельные виды живых организмов, в том числе атмосферных примесей на растительность. Так, установлено, что лишайники и хвойные породы деревьев в большей степени, чем прочие автотрофные организмы, реагируют на присутствие в воздухе кислых газов, в первую очередь сернистого ангидрида. Некоторые исследователи предлагают установить предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ для диких видов живых организмов, обитающих в природных экосистемах, с тем, чтобы использовать эти нормативы при оценке ущерба и ограничении воздействия на особо охраняемые природные объекты. Однако до введения государственных нормативов еще далеко.

Нормирование качества воды. В соответствии с действующими правилами и нормами (Государственный регламент) питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь соответствующие органолептические свойства (т. е. воспринимаемые органами чувств): температура, прозрачность, цвет, запах, вкус,

жесткость. Под качеством воды в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования; показатели качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

По санитарному признаку устанавливаются микробиологические и паразитологические показатели качества воды (число микроорганизмов и число бактерий группы кишечных палочек в 1 единице объема, количество цист гельминтов).

Токсикологические показатели качества воды, характеризующие безвредность ее химического состава, определяются содержанием химических веществ, которое не должно превышать установленных нормативов. Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_в) - это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Рыбохозяйственное нормирование. ПДК химических веществ для рыбохозяйственных водоемов в отличие от гигиенических норм устанавливают в ходе экспериментов на водных организмах (гидробионтах) с помощью приемов и методов водной токсикологии. Биотестирование токсичности вещества - это токсикологический эксперимент, в ходе которого определяют параметры токсичности: максимально не действующую концентрацию (МНК), летальные (ЛД₁₀₀) и полuletальные (ЛД₅₀) дозы (индекс обозначает долю погибших опытных организмов при соответствующей концентрации химического вещества).

Опыты по установлению ПДК рыбохозяйственных водоемов проводят с водными организмами, представляющими основные трофические звенья водной экосистемы, промысловыми рыбами, кормовыми беспозвоночными, водорослями. У разных видов тест-организмов наблюдаются большие различия в чувствительности. Поэтому выявляют самое слабое звено среди всех использованных организмов и устанавливают максимально не действующую концентрацию, которую принимают за основу в расчетах ПДК.

Нормирование и контроль загрязнения почвы. Принцип контроля загрязнения почв - это проверка соответствия концентраций загрязняющих веществ

установленным нормам и требованиям (Государственному регламенту). Понятие ПДК для почвы несколько отличается от такового для других сред.

ПДК загрязняющих веществ в почве - это максимальная концентрация загрязняющего вещества, которая не вызывает прямого или опосредованного негативного воздействия на здоровье человека и способность почв к самоочищению.

Так, ПДК пестицидов в почве представляет собой максимальное содержание остатков пестицидов, при котором они мигрируют в сопредельные среды в количествах, не превышающих гигиенические нормативы, а также не влияют отрицательно на биологическую активность самой почвы.

Таким образом, существуют различные нормативы предельно допустимых концентраций веществ в различных средах: ПДК в воздухе рабочей или жилой зоны, ПДК рыбохозяйственных водоемов, ПДК в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, ПДК в продуктах питания и т. д.

Санитарно-гигиенические и экологические нормативы определяют качество окружающей среды по отношению к здоровью человека и состоянию экосистем, но в них не указан источник воздействия и не регулируется его деятельность. Требования, предъявляемые к источникам воздействия, отражены в научно-технических нормативах.

К научно-техническим нормативам относятся *нормативы выбросов и сбросов вредных веществ* (ПДВ и ПДС), а также технологические, строительные, градостроительные регламенты, содержащие требования по охране окружающей природной среды. В основу установления научно-технических нормативов положен следующий принцип: при условии соблюдения этих нормативов предприятиями региона содержание любой примеси в воде, воздухе и почве должно удовлетворять требованиям санитарно-гигиенического нормирования.

Научно-техническое нормирование предполагает введение ограничений деятельности хозяйственных объектов в отношении загрязнения окружающей среды, иными словами, позволяет определять предельно допустимые потоки вредных веществ, которые могут поступать от источников воздействия в воздух, воду, почву. Таким образом, от предприятий требуется не собственно обеспечение тех или иных ПДК, а соблюдение пределов выбросов и сбросов вредных веществ, установленных для объекта в целом или конкретных источников, входя-

щих в его состав. Зафиксированное превышение величин ПДК_в или ПДК_{мр} в окружающей среде само по себе не является нарушением со стороны предприятия, хотя, как правило, служит сигналом невыполнения установленных научно-технических нормативов (или свидетельством необходимости их пересмотра).

Система контроля, основанная на дифференцированном определении концентрации вредных веществ и сопоставлении их с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), недостаточно эффективна. Следует иметь в виду, что во многих случаях при установлении ПДК учитывается только прямое токсикологическое взаимодействие и игнорируются реально существующие косвенные факторы, которые могут обусловить возможные отдаленные последствия

Не менее серьезным недостатком контроля, основанного на системе ПДК, является то, что изолированное действие отдельных химических веществ без учета реальной экологической ситуации не отражает истинной картины. Изолированного действия не существует - действует вся сумма факторов, взаимодействие которых может усиливать или ослаблять эффект воздействия каждого. На сегодняшний день установлено всего около 1000 ПДК вредных веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и около 700 ПДК загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов. В то же время, известно, что число загрязняющих веществ антропогенного происхождения в диапазоне концентраций 10^{-4} ... 10^{-7} % в водоемах и водотоках превысило миллион наименований и ежегодно синтезируется свыше четверти миллиона новых химических веществ. Такое несоответствие усугубляется тем, что не более 10 % общего числа нормированных вредных веществ анализируется методами на уровне ПДК.

Не дает возможности получать адекватную оценку состояния водных экосистем и использование методов биотестирования - экспериментальное определение токсичности воды для гидробионтов, основанное на регистрации реакций тест-объектов. Возможность экстраполяции результатов экспериментов по биотестированию, полученных в условиях близких к природным, на естественные водоёмы, крайне ограничена, так как при разработке и стандартизации методик биотестирования невозможно учесть все особенности жизнедеятельности организма в природной среде.

Таким образом, широко распространенная система государственного контроля, основанная на дифференцированном определении концентрации отдельных контролируемых вредных веществ, как и методы биотестирования, не может дать адекватной оценки состояния водных экосистем. Это происходит потому, что на водные экосистемы помимо химического загрязнения негативное влияние оказывают многие другие антропогенные факторы, например тепловое и биологическое загрязнения. Все это обуславливает необходимость дальнейшей концептуальной разработки новых экспериментальных методов и подходов, обеспечивающих возможность непосредственной оценки состояния природных экосистем и отдельных их компонентов.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Чем вызвана необходимость нормирования антропогенного воздействия на природную среду?
- 2 Как определяется вредность загрязняющих веществ?
3. Назовите основные отличия систем нормирования качества компонентов окружающей среды.
4. Дайте определение ПДК. Что лежит в основе экологического и санитарно-гигиенического нормирования?
5. Чем объясняется малоэффективность экологического контроля по нормативам ПДК?

15. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Первым необходимым этапом на пути решения современных экологических проблем должно быть создание системы получения (сбора) надежной информации о состоянии окружающей природной среды. В конце 1960-х годов многие страны осознали необходимость координации усилий в развитии этого направления. В 1972г. в Стокгольме на конференции по охране окружающей среды под эгидой ООН было принято решение о создании комплексной системы мониторинга (наблюдений) за качеством атмосферного воздуха, воды и почвы с целью оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов.

Под мониторингом окружающей природной среды понимают долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением и происходящими в ней явлениями, а также оценку и прогноз состояния природной среды и ее загрязнения.

В последние десятилетия общество все шире использует в своей деятельности сведения о состоянии природной среды. Эта информация нужна в повседневной жизни людей, при ведении хозяйства, в строительстве, при чрезвычайных ситуациях (для оповещения о надвигающихся опасных явлениях природы). Но изменения в состоянии окружающей среды происходят и под воздействием биосферных процессов, связанных с деятельностью человека. Необходимость в глобальном мониторинге человеческой деятельности непрерывно возрастает и потому, что за последние 10 лет в мире синтезировано более 4 млн. новых химических соединений, ежегодно производится около 30 тыс. видов химических веществ в количестве более 1 т в год каждое.

Экологический мониторинг можно рассматривать как информационную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданную с целью выделения антропогенной составляющей этих измене-

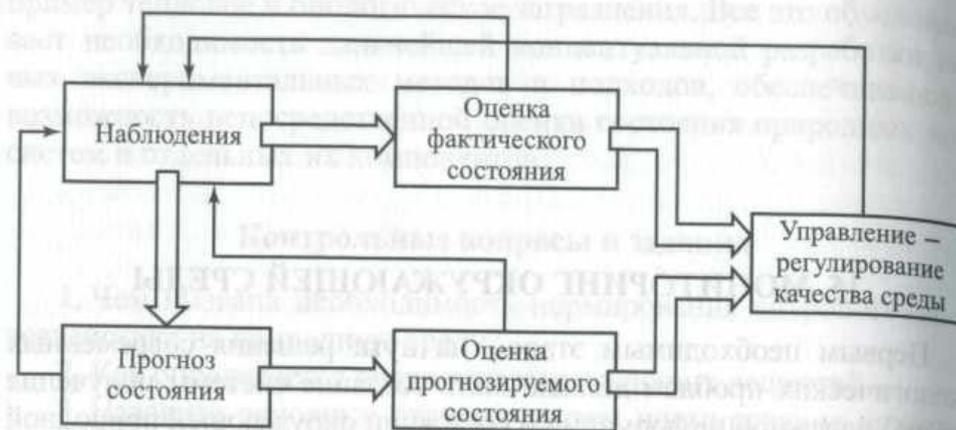


Рис. 15.1. Схема экологического мониторинга:

⇒ — прямая связь; ⇐ — обратная связь

ний на фоне природных процессов (рис. 15.1).

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию, позволяющую определить:

- состояние окружающей среды;
- причины наблюдаемых и вероятных изменений состояния (источники и факторы воздействия);
- допустимость изменений и нагрузок на среду в целом;
- существующие резервы биосферы.

Таким образом, система экологического мониторинга включает три основных направления деятельности:

- наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды и оценку фактического состояния среды;
- прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния;
- выявление факторов и источников антропогенного воздействия (рис. 15.1).

Полученная информация используется для исключения или уменьшения вероятности возникновения неблагоприятных экологических ситуаций, охраны природных и созданных человеком объектов, сохранения среды, здоровья и бла-

гополучия людей. Конечная цель мониторинга - оптимизация отношений человека с природой, экологическая ориентация хозяйственной деятельности.

Различают несколько видов мониторинга. По территориальному признаку выделяют *локальный, региональный и глобальный* (биосферный) мониторинги, по используемым методам – космический, авиационный, стационарный и пр. Могут быть выделены и другие виды мониторинга: геофизический, климатический, биологический, мониторинг здоровья населения и т. д.

Локальный (импактный) мониторинг обычно относится к отдельным объектам природной среды, которые чаще всего подвержены интенсивным антропогенным нагрузкам (например, участки рек вблизи населенных пунктов, участки леса в районах систематических техногенных осадков и т. д.), либо к крупным источникам загрязнения (промышленные предприятия). Например, на реках пункты локального экологического мониторинга, осуществляющие систематический отбор и анализ проб воды, располагаются выше источника загрязнения (фоновый створ) и ниже по течению на разных расстояниях от него (контрольные створы). Задачей локального мониторинга является контроль фактического загрязнения (выбросов) с целью информирования соответствующих органов, а также определение параметров моделей «поле выбросов - поле концентраций».

Региональный мониторинг охватывает значительные по площади районы, которые, как правило, отличаются от соседних по природным условиям (например, природные зоны, ландшафтные комплексы, рекреационные территории вокруг городов и т. п.). На этом уровне основной задачей мониторинга является оценка изменений качества природной среды в региональном масштабе (область, край).

Глобальный мониторинг ставит целью получение информации о биосфере в целом или об отдельных биосферных процессах в глобальном масштабе (изменение климата, наблюдения за озоновым слоем, дальние атмосферные переносы загрязняющих веществ и т. п.).

Проблемы, которые решаются с помощью системы экологического мониторинга, особенно сложны на глобальном уровне. Локальный и региональный мониторинг, как правило, является внутригосударственной задачей, тогда как

глобальный мониторинг - задача мирового сообщества. Этот вид мониторинга обуславливает необходимость международной кооперации и четкой координации деятельности всех государств.

Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Существующая сеть наблюдений за источниками воздействия и за состоянием биосферы охватывает уже весь земной шар. ГСМОС была создана совместными усилиями мирового сообщества (основные положения, определяющие функционирование системы, были сформулированы в 1974г. на первом межправительственном совещании по мониторингу). Наиболее важной задачей была признана организация мониторинга загрязнения окружающей природной среды и вызывающих его факторов воздействия.

Программы наблюдений формируются на основе выбора приоритетных (подлежащих первоочередному определению) загрязняющих веществ и интегральных характеристик группы явлений, процессов или веществ. Классы приори-

Таблица 15.1

Классификация загрязняющих веществ по классам приоритетности, принятая в системе ГСМОС

Класс приоритетности	Загрязняющее вещество	Среда	Тип программы (уровень мониторинга)
1	Диоксид серы, взвешенные частицы	Воздух	И, Р, Ф*
	Радионуклиды	Пища	И, Р
2	Озон	Воздух	И (тропосфера), Ф (стратосфера)
	Хлорорганические соединения и диоксины	Биота, человек	И, Р
	Кадмий	Пища, вода, человек	И
3	Нитраты, нитриты	Вода, пища	И
	Оксиды азота	Воздух	И
4	Ртуть	Пища, вода	И, Р
	Свинец	Воздух, пища	И
	Диоксид углерода	Воздух	Ф
5	Оксид углерода	Воздух	И
	Углеводороды нефти	Морская вода	Р, Ф
6	Фториды	Пресная вода	И
7	Асбест	Воздух	И
	Мышьяк	Питьевая вода	И
8	Микробиологические загрязнения	Пища	И, Р

*Обозначение типа мониторинга: И – импактный (локальный); Р – региональный; Ф – фоновый (глобальный).

тетности загрязняющих веществ, установленные экспертным путем и принятые в системе

Определение приоритетов при организации систем мониторинга зависит от цели и задач конкретных программ. Так, в региональном масштабе приоритетными целями государственных систем мониторинга являются в первую очередь атмосферный воздух и вода пресных водоемов, крупные населенные пункты, источники питьевой воды, места нерестилищ рыб и др. Как говорилось в разделе 13, осуществлять мониторинг содержания и распространения всех химических веществ, попадающих в окружающую среду в результате человеческой деятельности, невозможно. Поэтому контролируют содержание только наиболее опасных соединений, определяемых по таким критериям, как высокая токсичность для человека, большие объемы поступления в окружающую среду, вероятность трансформации этих веществ в более токсичные и т. д.

Основы ГСМОС были заложены разработками академика Ю. А. Израэля, продолжающего исследования в рассматриваемой области. Центральной в предложенной им концепции была идея слежения за антропогенными изменениями в окружающей природной среде. Хорошо известно, что естественные, природные изменения климата, погоды, сезонные и межгодовые изменения видового разнообразия и биомассы растений и животных происходят сравнительно медленно, за большие отрезки времени. Их регистрируют различные геофизические, метеорологические, гидрологические, сейсмические и другие службы, а также станции фоновое глобального мониторинга в биосферных заповедниках. Антропогенные изменения происходят гораздо быстрее и их последствия весьма опасны, так как они могут стать необратимыми. Для их обнаружения необходимо иметь информацию о первоначальном состоянии объекта окружающей среды, т. е. о его состоянии до начала антропогенного воздействия.

В России основными направлениями глобального мониторинга, согласно ГСМОС, считаются следующие:

- изучение эффектов, связанных с распространением загрязняющих ве-

ществ на большие расстояния;

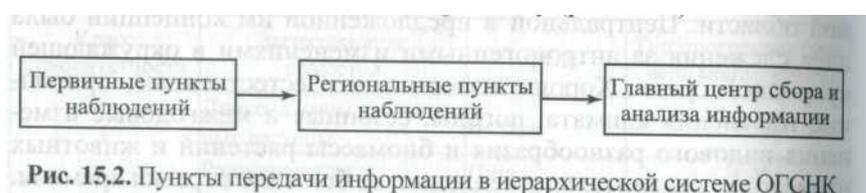
- глобальные изменения содержания диоксида серы (SO_2), озона (O_3), диоксида азота (NO_2) и углекислого газа (CO_2) в нижней атмосфере вследствие антропогенной эмиссии этих веществ;

- изменения глобального климата вследствие антропогенной эмиссии парниковых газов;

- усиление приземного потока ультрафиолетовой радиации, вызванное истончением стратосферного озонового слоя вследствие антропогенной эмиссии газов, разрушающих озон.

В 1993г. в России было принято решение о создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) объединяющей возможности многочисленных служб и ведомств, для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния среды в Российской Федерации. В настоящее время работы по созданию ЕГСЭМ находятся на стадии начальных региональных проектов.

Организационную основу Государственной службы наблюдения за состоянием окружающей природной среды составляют Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и ее подразделения на местах. На территории СССР в 1970-е годы на базе станций Гидрометеослужбы была организована Общегосударственная служба наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК), построенная по иерархическому принципу (рис. 15.2).



Задача службы - обеспечение наблюдений за загрязнением природной среды и предоставление государственным органам и заинтересованным организациям систематической информации и прогнозов, а также экстренной информации о резких изменениях загрязнения природной среды. Все работы проводятся соглас-

но нормативно-методическим документам, устанавливающим соответствующие требования.

Система наблюдений состоит из следующих подсистем наблюдений, объектами которых является загрязнение:

- воздух в городах и промышленных районах;
- почва;
- пресные и морские воды;
- трансграничный перенос веществ, загрязняющих атмосферу;
- природная среда.

Кроме того, ведутся комплексные наблюдения за состоянием растительности, химическим и радионуклидным составом, кислотностью атмосферных осадков и загрязнением снежного покрова.

Для планирования и осуществления природоохранных мероприятий необходимо контролировать общее состояние окружающей среды, чтобы точно знать, когда и где необходимо принять меры и какие именно. Контроль состояния окружающей среды осуществляется по физико-химическим и биологическим показателям, характеризующим содержание в среде загрязняющих веществ и изменения в биоценозах под влиянием загрязнения. Вследствие огромного количества химических загрязняющих веществ и невозможности постоянного определения содержания каждого из них, наиболее эффективным считается контроль интегрального воздействия химического загрязнения окружающей среды, в первую очередь по биологическим показателям, которые отражают реакцию экосистемы на антропогенные воздействия.

Как известно, специфические факторы часто довольно строго определяют, какие организмы могут жить в данном месте (в данных условиях), и по совокупности видов можно судить о типе физической среды. При этом используется информация как о численности одного, наиболее характерного вида, так и о численном соотношении разных видов, популяций и целых сообществ. Таким образом, учитываются важнейшие интегральные структурные и функциональные характеристики состояния экосистемы: показатели видового разнообразия; обычные индикаторные виды; средний размер организмов (при загрязнении мелкие организмы обычно

преобладают над крупными); уровень первичной продукции; отношение продукции к дыханию; отношение первичной продукции к микробной деструкции.

Биологические показатели широко используются для контроля загрязнения водных объектов (пресных водоемов и морских прибрежных районов). В частности, для оценки экологического состояния водного объекта наиболее полную информацию дают результаты *гидробиологических наблюдений*. Этот метод (биоиндикация) основан на оценке большого набора показателей, охватывающих основные трофические уровни водной экосистемы: фитопланктон, зоопланктон, бентос, скорость продукции и деструкции органического вещества и др. Интегральными показателями, характеризующими общий уровень загрязнения вод всем комплексом токсичных веществ и, следовательно, степень опасности водной среды для гидробионтов, являются *биотестовые (токсикологические) показатели*. Для их определения используются традиционные токсикологические методы, основанные на определении реакции отдельных тестовых видов (например, рачка *Daphnia*) на действие токсикантов в лабораторных условиях.

При определении качества вод часто используется метод микробной индикации - оценка количественных и качественных характеристик состояния экосистем по преимущественному развитию тех или иных популяций микроорганизмов. Широкое распространение получил метод быстрой оценки санитарного качества окружающей среды, включая почву, пресные и морские воды, с использованием в качестве индикаторного объекта кишечной палочки *Escherichia coli*. Колититр и коли-индекс - классические показатели оценки качества питьевой и морской воды.

Микробная индикация предусматривает оценку количественных и качественных характеристик состояния экосистем по преимущественному развитию тех или иных популяций микроорганизмов. Основу микробной индикации загрязнения среды составляет быстрая адаптация микроорганизмов к новым химическим условиям, возникающим в результате антропогенного воздействия.

Индикаторные микроорганизмы высокочувствительны, обладают ярко выраженными адаптационными возможностями и многообразными физиологическими свойствами и отражают малейшие изменения природного фона (например, при наличии определенных загрязняющих веществ). Для установления степени загрязненности

сти исследуемой экосистемы учитывают численность индикаторных микроорганизмов и их долю в общем содержании всех жизнеспособных микроорганизмов в этом районе. Так, после аварийного разлива нефти резко увеличивается численность углеводород-окисляющих бактерий (на 3-5 порядков). Если в чистых экосистемах они составляют обычно менее 0,1 % от общего микробного населения, то в экосистемах океана, загрязненных нефтью, их доля может составить 100 %.

Гетеротрофные индикаторные бактерии объединяют в группы в зависимости от используемого субстрата (например, гексадеканокисляющие, бензопирен-трансформирующие, ксилотрансформирующие, полихлорбифенилтрансформирующие). Определение индикаторных групп бактерий положено в основу микробной индикации распространения тех или иных загрязняющих веществ.

Контрольные вопросы и задания

1. Что входит в понятие экологического мониторинга?
2. Назовите основные направления деятельности системы мониторинга.
3. Перечислите существующие виды мониторинга.
4. В чем суть биологической индикации загрязнения природной среды?

16. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Деятельность современного человека существенно изменила природную среду на всей нашей планете.

Суть современного экологического кризиса составляет противоречие между почти безграничными возможностями человеческой деятельности, преобразующей природу, и ограниченными возможностями биосферы в ресурсном обеспечении этой деятельности.

Глобальный характер современного экологического кризиса отличает его от предшествующих кризисов. В этой связи традиционные методы выхода из кризиса посредством перемещения на новые территории практически неосуществимы. Реальным остается изменение способов производства, норм потребления и объемов использования природных ресурсов.

На протяжении последних двух-трех веков технические возможности человека изменять природную среду стремительно возрастали, достигнув своей высшей точки в эпоху научно-технического прогресса. Однако выяснилось, что рост могущества человека чаще всего приводил к увеличению отрицательных для природы и в конечном счете опасных для существования самого человека последствий его деятельности.

К числу наиболее острых для человечества и до сих пор нерешенных *экологических проблем* можно отнести следующие:

- демографический кризис (резкое увеличение населения Земли);
- урбанизация;
- уменьшение площади лесов;
- эрозия и снижение плодородия почв;
- дефицит пресной воды;
- негативные последствия производства энергии;
- загрязнение природной среды;
- разрушение озонового слоя стратосферы;
- антропогенное изменение климата;
- снижение биологического разнообразия (уменьшение численности видов организмов);

- снижение устойчивости природных экосистем к антропогенному воздействию;
- влияние негативных изменений в природной среде на здоровье населения.

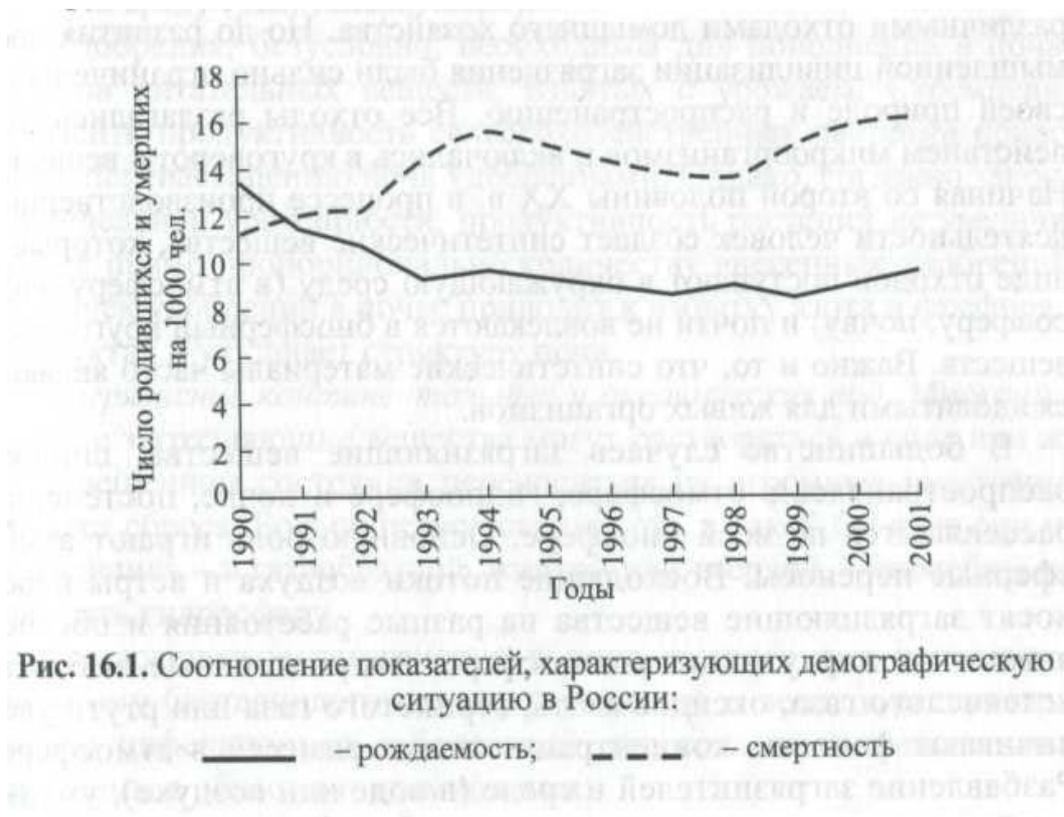
Увеличение численности населения Земли. Для человеческой популяции характерен невиданный по масштабам «демографический взрыв», т. е. резкое увеличение темпов роста населения, продолжающееся с середины XX в. Оно особенно выражено в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки. Наиболее высокий прирост населения приходится на последние десятилетия. В конце 1990-х годов население Земли составило уже 6 млрд. человек, тогда как в 30-х годах XX в. население Земли составляло 2 млрд. человек. Считается, что плотность населения Земли приближается к критическому уровню. Однако, по мнению многих ученых, его численность со временем стабилизируется на уровне 10-12 млрд. человек.

Рост населения наряду с развитием промышленности - второй основной фактор негативного влияния на биосферу, поскольку возрастание численности человечества сопровождается увеличением потребностей в продукции сельского хозяйства и промышленного производства и объема вовлекаемых природных ресурсов. Указанные процессы приводят к росту загрязнения окружающей среды и негативному воздействию на биосферу.

Увеличение производства продуктов питания, создание новых рабочих мест, расширение промышленного производства сопровождаются расходом невозобновляемых природных ресурсов, но главная причина противоречий между человеком и природой - быстрое нарастание совокупной антропогенной нагрузки на нее.

Специфика демографических процессов в разных странах связана с целым комплексом факторов, среди которых наибольшее значение имеют социально-экономические и экологические. Если в промышленно развитых странах воздействие на природу связано в основном с техногенным загрязнением то в развивающихся странах основное воздействие связано с прямым уничтожением природы в результате непомерно высоких нагрузок на экосистемы: сведение лесов, истощение доступных ресурсов и т. д.

Несмотря на то, что общая численность населения Земли возрастает, в отдельных странах прироста населения нет или даже наблюдается его убыль. Так, показатели рождаемости в России на протяжении всего XX в. снижались и в середине 60-х годов впервые опустились ниже уровня простого возобновления. В конце 90-х годов прошлого века эти негативные тенденции значительно усили-



лись, и в 1991-1992 гг. в России сложилась уникальная демографическая ситуация, графическое отображение которой получило название «русский крест» (рис. 16.1).

Суть этого явления, наблюдаемого в мирное время и в отсутствие каких-либо глобальных катастроф, состоит в том, что показатели смертности в различных субъектах и в целом по России стали устойчиво превышать показатели рождаемости, что приводит к вымиранию населения (рис. 16.1).

Урбанизация (от лат. urbanus - городской) - процесс сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах. Если до 1900г. в городах жило всего около 14 % населения Земли, то в наши дни в городах живет примерно половина населения Земли. В городах требуется высочайшая концентрация продовольствия, воды, топлива и других ресурсов жизнеобеспечения. Природные экосистемы также не в состоянии переработать то количество отходов, которое обра-

зуется в процессе жизнедеятельности людей в городах. Главные следствия урбанизации: истощение энергетических ресурсов, загрязнение окружающей среды, деградация водных, лесных и почвенных ресурсов, потеря сельскохозяйственных угодий. Кроме того, имеются данные, что в городах заболеваемость людей в среднем в два раза выше, чем в сельской местности.

Глобальное загрязнение биосферы. Загрязнение представляет собой одну из самых древних проблем. Она возникла с появлением первых поселений с их ручьями из сточных вод и различными отходами домашнего хозяйства. Но до развития промышленной цивилизации загрязнения были сильно ограничены по своей природе и распространению. Все отходы разлагались под действием микроорганизмов и включались в круговороты веществ. Начиная со второй половины XX в. в процессе производственной деятельности человек создает синтетические вещества, которые, в виде отходов поступают в окружающую среду (в атмосферу гидросферу, почву) и почти не вовлекаются в биосферный круговорот веществ. Важно и то, что синтетические материалы часто являются ядовитыми для живых организмов.

В большинстве случаев загрязняющие вещества, широко распространяясь в атмосфере, гидросфере и почве, постепенно рассеиваются по всей биосфере. Основную роль играют атмосферные переносы. Восходящие потоки воздуха и ветры переносят загрязняющие вещества на разные расстояния и обеспечивают их циркуляцию в атмосфере. Антропогенные выбросы углекислого газа, оксидов азота, сернистого газа или ртути увеличивают фоновые концентрации этих примесей в атмосфере. Разбавление загрязнителей в среде (в воде или воздухе), уменьшая концентрацию на данном участке биосферы, не снижает их опасности для природы и человека, а только отдалает негативные последствия.

Загрязнение атмосферы. Основная причина загрязнения атмосферы - сжигание ископаемого топлива. К другим причинам относятся выбросы побочных продуктов химической промышленности, выбросы пыли, радиоактивные газы атомных электростанций, выхлопы автомобилей. Основными веществами, загрязняющими атмосферу, являются газы (90%) и твердые частицы (пыль). Вследствие деятельности человека в атмосферу поступают пыль, углекислый

газ (CO_2), угарный газ (CO), диоксид серы (SO_2), метан (CH_4), оксиды азота (NO_2 , NO , N_2O).

Загрязнение почв. Повышение плодородия почв часто достигается путем внесения большого количества удобрений, использования средств химической защиты от вредителей, что позволяет интенсифицировать сельскохозяйственное производство. Широкое применение искусственных химических веществ приводит к загрязнению почв и живых организмов. Кроме того, атмосферные осадки, несущие загрязняющие вещества, выпадают на поверхность почвы и также являются источником ее загрязнения. Поверхностные и грунтовые воды смывают загрязняющие вещества в водную среду (реки, озера, моря).

Удобрения, безусловно, необходимы для пополнения в почве запасов питательных веществ, изъятых с урожаем. Стремление повысить продуктивность сельскохозяйственных растений приводит к перенасыщению почв удобрениями. Однако, согласно закону о предельной урожайности, продуктивность растений не увеличивается прямо пропорционально количеству внесенных удобрений. Излишек удобрений в почве приводит к избытку азота и фосфора в продуктах и ухудшает структуру почв.

Загрязнение континентальных и океанических вод. Многочисленные загрязняющие вещества могут растворяться в воде или же во взвешенном состоянии переноситься на огромные расстояния от мест сброса. Большинство токсикантов, в какой бы фазе они ни находились - в газообразной, жидкой или твердой, - способны загрязнять гидросферу.

Биологическое загрязнение в виде сточных вод приводит к сильному бактериологическому заражению и ведет к распространению инфекционных заболеваний, что создает дополнительные проблемы в области эпидемиологии.

Химическое загрязнение вод происходит в результате выброса различных химических соединений, используемых в сельском хозяйстве (пестициды и минеральные удобрения), а также отходов промышленных предприятий. Очень часто промышленные стоки несут в себе губительные для гидробионтов вещества, такие, как свинец, ртуть, медь и др. Загрязнение углеводородами (нефтью и нефтепродуктами) в последние десятилетия стало одним из основных видов загрязнения гидросферы.

Экологические последствия загрязнения природных вод проявляются в нарушении биогеохимических циклов веществ, снижении биологической продуктивности, деградации отдельных водных экосистем.

Загрязнение вод органическими веществами влияет на абиотические и биотические факторы, действующие как в проточных водах (реки), так и в больших стоячих водоемах (озера, замкнутые моря). В проточных водах слив отходов, насыщенных органическими веществами, вызывает полное нарушение функционирования экосистемы. При этом образуются четыре зоны, которые следуют одна за другой вниз по течению: 1) зона деградации, где воды реки смешиваются с загрязнителем; 2) зона активного разложения, где грибы и бактерии, аэробные, а затем и анаэробные размножаются и разрушают органическое вещество; 3) зона восстановления, где вода постепенно очищается, и восстанавливаются ее начальные характеристики; 4) зона чистой воды.

В результате активного развития микроорганизмов в зоне разложения резко падает концентрация растворенного кислорода и снижается численность водорослей. Вспышка автотрофов (микроскопические водоросли - фитопланктон) происходит в третьей зоне в результате появления нитратов и фосфатов, извлекаемых микроорганизмами-деструкторами из загрязняющих органических веществ. Когда удаление растворенного и взвешенного загрязняющего вещества заканчивается, и восстанавливаются начальные условия, вновь появляются организмы, живущие в чистой воде. Нарушения состава сообществ животных, обитающих в реках, выражены гораздо резче, так как никакие животные, обитающие в чистой воде, не могут выжить в зараженной зоне.

Загрязнение вод токсичными соединениями приводит к подавлению жизнедеятельности и гибели чувствительных к данному токсиканту организмов. Например, хлорсодержащие инсектициды, в частности ДДТ, тормозят фотосинтез у фитопланктона и оказывают сильное отрицательное воздействие на биоценозы вследствие способности к концентрации в пищевых цепях - биоаккумуляции.

Один из главных факторов негативных изменений в биосфере сверхинтенсивная эксплуатация природных ресурсов, которая приводит к таким последствиям, как разрушение растительного покрова и ухудшение свойств почвы.

Разрушение растительного покрова. В первую очередь оно связано с вырубкой лесов. Сведение лесов - одна из острейших глобальных экологических проблем. В функционировании природных экосистем роль лесных сообществ огромна. Лес поглощает атмосферные загрязнения, защищает почву от эрозии, регулирует сток поверхностных вод, препятствует снижению уровня грунтовых вод и т. д. Кроме того, леса играют большую роль в процессе связывания свободной углекислоты воздуха в процессе фотосинтеза (снижение парникового эффекта).

Уменьшение площади лесов вызывает нарушение круговоротов кислорода и углерода в биосфере. Хотя катастрофические последствия сведения лесов широко известны, их уничтожение продолжается. Площадь лесов на планете ежегодно уменьшается почти на 2%.

В результате интенсивного животноводства луговые экосистемы вырождаются в пустоши.

Ухудшение физико-химических свойств почвы. Чрезмерная эксплуатация земель под сельскохозяйственные культуры - мощный фактор разрушения природных ресурсов. Обычно выделяют четыре главные причины порчи и уничтожения земель: ветровая и водная - эрозия; засоление при неправильной ирригации; снижение плодородия; загрязнение почв.

Эрозия - разрушение почв в результате действия воды или ветра. Эрозионные процессы в природе резко усилились под влиянием человека. Эрозия начинается, прежде всего, там, где уничтожается естественный растительный покров, который скрепляет почву корнями и снижает интенсивность воздушных и водных потоков. За свою историю человечество потеряло около 2 млрд. га плодородных земель.

Орошаемое земледелие вызывает ирригационную эрозию и вторичное засоление. Излишек влаги на полях обуславливает повышение уровня грунтовых вод до поверхности почвы и их интенсивное испарение. Растворенные в воде соли накапливаются в верхнем горизонте почвы, снижая ее плодородие. Некоторые ученые считают, что цивилизация Древнего Вавилона погибла от вторичного засоления почв.

Истощение земель вызывается также: отчуждением питательных веществ с урожаем и неполным последующим их возвратом; потерей гумуса - ухудшением

водного режима. В результате истощения почва теряет плодородие и опустынивается.

Разрушение озонового слоя Земли. С антропогенными изменениями атмосферы связано и разрушение озонового слоя, который служит защитным экраном от ультрафиолетового излучения, губительного для живых организмов. Особенно быстро процесс разрушения озонового слоя происходит над полюсами планеты, где появились так называемые озоновые дыры. В 1987г. зарегистрированы расширяющаяся год от года (темпы расширения - 4 % в год) озоновая дыра над Антарктикой (выходящая за контуры материка) и менее значительное аналогичное образование в Арктике.

Опасность истощения озонового слоя заключается в том, что может увеличиться интенсивность губительного для живых организмов ультрафиолетового излучения. Ученые считают, что основной причиной истощения озонового слоя (экрана) является применение людьми хлорфторуглеродов (фреонов), которые широко используются в быту и в производстве (аэрозоли, пенообразователи, растворители и т. д.). В 1990г. мировое производство озоноразрушающих веществ составляло более 1300 тыс. т. Хлорфторуглероды, попадая в атмосферу, разлагаются в стратосфере с выделением атомов хлора, которые катализируют превращение озона в кислород. В нижних слоях атмосферы фреоны могут сохраняться в течение десятилетий. Отсюда они поступают в стратосферу, где их содержание по оценкам ежегодно увеличивается примерно на 5%. Предполагается, что одной из причин истощения озонового слоя может быть и сведение лесов как продуцентов кислорода на Земле.

Глобальное изменение климата. В настоящее время основными причинами изменения климатической системы Земли считается антропогенная эмиссия (выбросы) газов (двуокиси углерода, метана, закиси азота, гидрофторуглеродов, перфторуглеродов и гексафторида серы), увеличивающих естественный парниковый эффект. Эти газы пропускают солнечный свет, но частично задерживают инфракрасное тепловое излучение, испускаемое поверхностью Земли. В последние десятилетия происходит интенсификация парникового эффекта, которая приводит к нагреванию нижних частей атмосферы, что, в свою очередь, обуславливает изменение климатических и метеорологических параметров.

Парниковый эффект. Под парниковым эффектом понимают повышение средней температуры приземной части атмосферы Земли в результате изменения теплового баланса, вызванного парниковыми газами. Основные парниковые газы - углекислый газ и водяной пар. Вклад углекислого газа в парниковый эффект, по разным данным, составляет от 50 до 65%. К другим парниковым газам относят метан (20%), оксиды азота (5%) и пр. Повышение концентрации парниковых газов приводит к тому, что солнечная радиация продолжает беспрепятственно проникать к земной поверхности, а длинноволновое (инфракрасное) излучение, идущее от Земли, поглощается парниковыми газами. В результате нижняя часть тропосферы нагревается выше обычного уровня и общий тепловой баланс Земли изменяется. По имеющимся данным, за счет парниковых газов среднегодовое значение температуры воздуха на Земле за прошлое столетие повысилось на 0,3...0,6 °С.

Считается, что до наступления индустриальной эры (конец XIX в.) потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы. Но за последние 100 лет содержание углекислого газа в атмосфере значительно увеличилось в результате антропогенных поступлений (рис. 16.2). Одним из их основных источников считается сжигание горючих ископаемых, однако этот процесс ускоряется и в результате развития сельского хозяйства и сведения лесов.

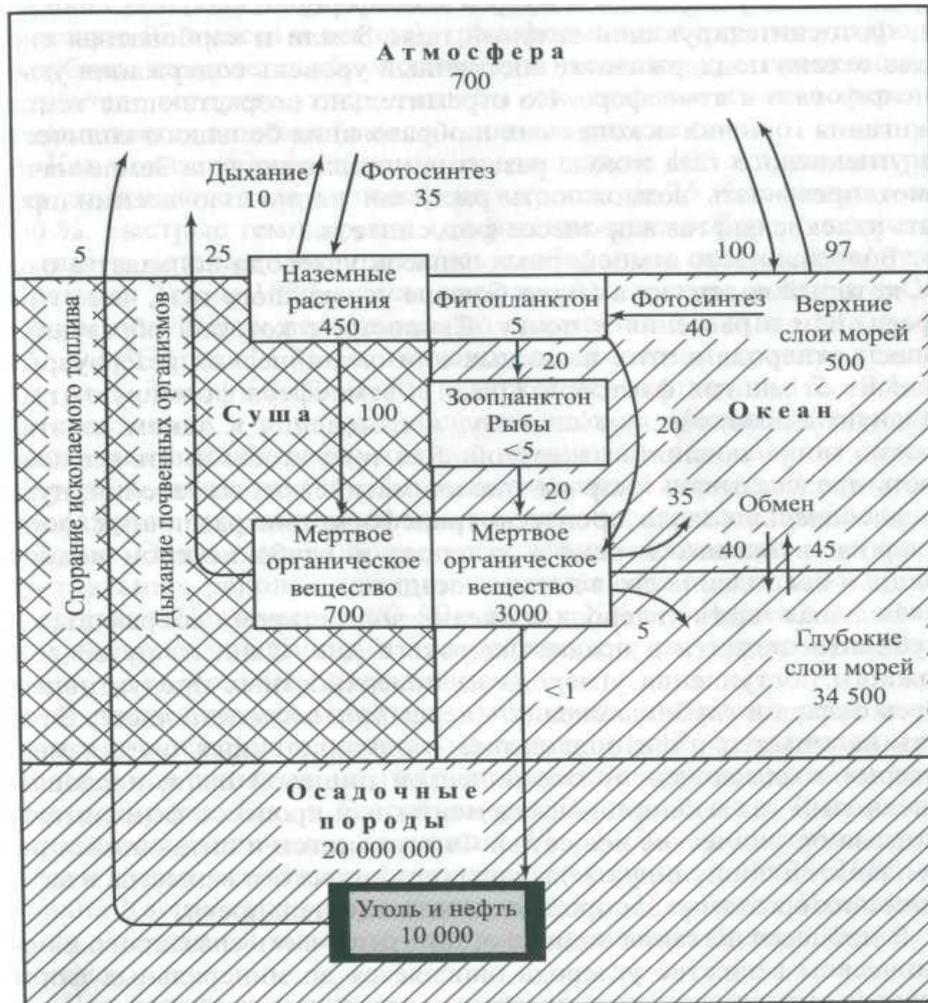


Рис. 16.2. Современный биогеохимический цикл углерода (млрд т) с учетом использования ископаемого топлива

Интенсивное ведение сельского хозяйства приводит к потере углерода почвой. Фиксация углекислого газа сельскохозяйственными растениями в процессе фотосинтеза не компенсирует его количества, высвобождающегося из почвы в результате вспашки. Сведение лесов приводит к дополнительному выделению углекислого газа в атмосферу при сжигании древесины. Леса - важные накопители углерода, так как в биомассе лесов содержится в 1,5 раза, а в лесном гумусе - в 4 раза больше углерода, чем во всей атмосфере.

Фотосинтезирующий зеленый пояс Земли и карбонатная система океана поддерживают постоянный уровень содержания углекислого газа в атмосфере. Но стремительно возрастающие темпы сжигания горючих ископаемых и образования большого количества углекислого газа в ходе развития цивилизации на Земле начинают превышать возможность растений полностью ассимилировать углекислый газ в процессе фотосинтеза.

Большая часть атмосферных запасов углерода попадает в океан, который содержит в 50 раз больше углекислого газа, чем атмосфера, или в растения и почву. Скорость, с которой образуются запасы углерода в этих наземных или океанических резервуарах, зависит от многих факторов. Океан и атмосфера формируют глобальную климатическую систему, и изменения в одном из этих блоков могут повлиять на другой. Для того чтобы иметь возможность предсказывать направление климатических изменений, нужно досконально знать процессы трансформации различных форм углерода в океане, переноса углерода в глубокие слои водной толщи и накопления его в донных осадках.

Большая часть углерода в океане долгое время сохраняется в глубинных водах и в осадках морского дна. Один из путей возможного поступления углерода из поверхностных продуктивных слоев океана в глубины океана - через *биологический насос*. Этот путь начинается с фитопланктона - одноклеточных организмов, которые создают основу океанической пищевой цепи, поглощая углекислый газ и биогенные элементы и в процессе фотосинтеза создавая органическое вещество. Фитопланктон и питающийся им зоопланктон продуцируют частицы органического вещества в виде отмерших организмов и продуктов жизнедеятельности.

В процессе дыхания водных организмов часть связанного в органическом веществе углерода окисляется до минеральных форм (углекислого газа) в верхних слоях океана, который в свою очередь может улетучиваться в атмосферу. Зафиксированный органический углерод в виде органических частиц (тела водных организмов, продукты их выделений в виде слипшихся комочков) под действием силы тяжести оседает в глубины океана, где он либо окисляется, либо становится частью осадочного органического материала. Как быстро и в каком объеме углекислый газ из атмосферы поступает в глубины океана, где задерживается на долгое время и где выключается из биогеохимического цикла углерода, зависит от интенсивности функционирования морских экосистем. Переход углерода неорганической формы (углекислый газ) в органическую (биомасса и детрит), трансформация и перенос углерода в глубины называется «биологическим насосом», т. е. процессом, в результате которого углерод как бы откачивается из атмосферы и накапливается в океане (в воде и донных отложениях).

Как показали исследования, за последние 100 лет концентрация углекислого газа в атмосфере выросла на 25%, а метана – на 100%. Быстрые темпы роста содержания в атмосфере углекислого газа и метана сопровождались глобальным повышением температуры. Так, в 1980-е годы средняя температура воздуха в Северном полушарии повысилась по сравнению с концом XIX в. на 0,5...0,6°C (рис. 16.3). По имеющимся прогнозам, средняя температура на Земле к 2020-2050 гг. может повыситься на 1,2...2,5°C по сравнению с доиндустриальной эпохой. Потепление может привести к интенсивному таянию ледников и повышению уровня Мирового океана на 0,5... 1,5м за указанный период. В результате окажутся затопленными многие густонаселенные прибрежные районы. Однако при общем увеличении количества осадков в центральных районах материков климат может стать более засушливым. Например, в 80-90-х годах XX в. в Африке и Северной Америке участились катастрофические засухи, которые связывают с глобальным потеплением.

В последние десятилетия потепление климата и рост количества атмосферных осадков на территории России оказали существенное влияние на гидрологические характеристики водных ресурсов. Так, в бассейнах рек Волги, Дона и Днепра наблюдалось увеличение стоков на 20...40 %. Увеличение стока Волги стало основным фактором повышения в 1978-1995 гг. уровня Каспийского моря почти на 2,5м. В районах Прикаспия было затоплено и выведено из землепользования более 320 тыс. га земли.

При потеплении климата ожидается увеличение риска опасных паводков во многих регионах России, где прогнозируется увеличение стоков рек. Прогнозируемые изменения уровней воды приведут к изменению процессов эрозии на водосборах и в руслах рек повышению мутности и ухудшению качества воды.

Климат на Земле менялся всегда, и не было сколько-нибудь длительных периодов, в течение которых он оставался стабильным. Но никогда еще климат не менялся с такой скоростью, как в настоящее время.



Помимо содержания парниковых газов существуют и такие важные параметры, активно влияющие на климат Земли, как содержание водяного пара в атмосфере и влагооборот над сушей. В результате повышения средней приземной температуры воздуха содержание водяного пара в атмосфере Земли возрастает, что приводит к усилению парникового эффекта. Влагооборот над сушей, который на 99% определяется растительностью, нарушается из-за ускоряющегося исчезновения лесов на планете.

В то же время глобальное потепление может привести и к обратной тенденции - к региональному похолоданию в результате изменения направлений морских течений. Уже в первые десятилетия XXI в. теплые воды Гольфстрима могут перестать быть барьером для холодных течений, идущих из Северного Ледовитого океана (от п-ва Лабрадор). Таким образом, на фоне общего планетарного потепления весьма вероятно локальное похолодание на севере Европы. Эффект исчезновения океанического обогрева может проявиться очень быстро, и, главное, он будет внезапным и резким. Последствия возможного локального похолодания на фоне общего потепления могут затронуть Исландию, Ирландию, Великобританию, страны Скандинавии, Мурманскую и Архангельскую области, республики Карелия и Коми, другие прилегающие районы России.

Результаты влияния человека на биосферу. В современную эпоху деятельность человека оказывает громадное влияние на природные условия всей планеты. Особенно сильно изменены флора и фауна суши. Многие виды животных и растений полностью уничтожены человеком, а еще большее количество видов находится под угрозой исчезновения. Предполагается, что за последнее время исчезло свыше 120 видов и подвидов млекопитающих и около 150 видов птиц.

Громадные изменения произошли с растительным покровом на большей части поверхности континентов. На обширных пространствах дикая растительность уничтожена и заменена сельскохозяйственными полями. Сохранившиеся до настоящего времени леса в значительной части являются вторичными, т. е. сильно измененными в результате воздействия человека по сравнению с естественным растительным покровом. Большие изменения произошли также в растительном покрове многих районов степей и саванн из-за интенсивного выпаса домашнего скота.

Воздействие человека на естественный растительный покров оказало заметное влияние на процесс почвообразования в соответствующих районах и привело к изменению физических и химических свойств почв. Ещё больше изменились почвы на сельскохозяйственных полях вследствие систематического применения искусственных химических удобрений и изъятия значительной части биомассы произрастающих растений. Во многих районах экологически не обоснованная обработка почвы привела к усилению эрозии, в результате которой почвенный покров на больших площадях оказался разрушенным.

Быстро возрастает влияние деятельности человека на гидрологический режим суши. Сток не только малых, но и многих крупных рек существенно изменился в результате создания гидротехнических сооружений, изъятия воды для обеспечения нужд промышленности и городского населения, орошения сельскохозяйственных полей. Создание крупных водохранилищ, площадь которых во многих случаях сравнима с площадью больших естественных озер, резко изменило режим испарения и стока на обширных территориях.

Период в истории взаимоотношений человека и природы с начала XX в. и до настоящего времени характеризуется расширением его экспансии: заселением

всех доступных для проживания территорий, интенсивным развитием промышленного и сельскохозяйственного производства, открытием и началом эксплуатации новых способов высвобождения и преобразования энергии (в том числе энергии атомного ядра), началом освоения околоземного космического пространства и Солнечной системы в целом, а также невиданным ранее ростом численности населения.

История влияния человека на биосферу показывает, что технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду, создавая предпосылки для возникновения крупных экологических кризисов. С другой стороны, тот же технический прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды. Наиболее отчетливо эти две противоположные тенденции проявились во второй половине XX в. и продолжают в настоящее время.

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте основные направления влияния человека на биосферу.
2. В чем заключается суть современного экологического кризиса?
3. Перечислите важнейшие экологические проблемы современности.
4. Какие факторы влияют на глобальное изменение климата?

17. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРОДОВ

Комплекс экологических проблем присущ любой территории, где сконцентрированы промышленные предприятия и население. В наибольшей степени он проявляется в условиях города, причем состав и острота экологических проблем зависят от множества факторов.

- *Масштаб города* - его площадь, состав и численность городского населения.

Именно эти параметры во многом определяют интенсивность транспортных потоков, объемы промышленного и бытового мусора, вывозимого на свалки или перерабатываемого на соответствующих предприятиях.

- *Природные условия территории* - особенности климата, в частности, среднегодовая температура, циркуляционные процессы в атмосфере, наличия или отсутствия крупных водных объектов и лесных массивов внутри города и по его периферии. Эти природные условия, зависящие от географического расположения городов, во многом определяют степень комфортности проживания горожан, необходимые энергетические затраты, качество водоснабжения, темпы нейтрализации загрязнителей, сбрасываемых в атмосферу и водные источники.

- *Характер и масштабы выбросов веществ, загрязняющих атмосферу, водные источники и почвы городской территории.* По этим признакам могут быть выделены промышленные города, жизнь которых ориентирована на обслуживание промышленных предприятий, или транспортных узлов; административные города, в которых сосредоточено управление отдельными территориями. Города, где сочетаются оба вида деятельности, - крупные административно-промышленные центры (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Красноярск, Новосибирск и многие другие) с населением, обычно приближающимся к миллиону или превышающим его.

- *Особенности застройки* - ее этажность, расположение в отношении сторон света и главенствующих элементов рельефа. Наблюдаемая тенденция существенного увеличения этажности застройки в городах России, порой без учета степени надежности и тенденций изменения грунтов оснований фундаментов, увеличения численности населения, транспортных потоков и всей городской ин-

фраструктуры, может в перспективе вызвать дополнительные экологические трудности.

- *Состояние и надежность инженерных сетей и коммуникаций, обеспечивающих снабжение города электроэнергией, водой, а также систем связи, обеспечивающих получение необходимой информации, и др.*

- *Уровень культуры горожан, их отношение к природе, городскому хозяйству, уклад жизни.*

В условиях города особенно отчетливо проявляется техногенное воздействие на здоровье человека и природную среду. Кроме того, чрезвычайно остры противоречия между экологически обоснованными требованиями к обустройству городов, предусматривающими создание обширных санитарно-защитных и буферных зон и увеличение протяженности инженерных сетей и коммуникаций, и прагматичными техническими подходами, при которых приоритет отдается сокращению расходов на строительство и эксплуатацию трубопроводных, транспортных, энергетических и телефонных коммуникаций.

Длительное время города формировались достаточно стихийно, без научной оптимизации производственных зон, зон отдыха и без учета требований санитарной охраны территорий. Особенно бурный территориальный рост городов начался после Второй мировой войны.

«Расползание городов» - спонтанный рост площади городской застройки, происходящий в результате быстрого увеличения численности населения. Негативные последствия этого процесса проявляются в разных сферах. На обширных пространствах возникает множество экологических проблем, к числу которых относятся:

- сокращение сельскохозяйственных угодий;
- интенсификация использования энергетических ресурсов;
- ухудшение состояния воздушной среды;
- деградация водных ресурсов;
- изменение микроклиматических условий;
- осложнение инженерных геоэкологических условий развития и эксплуатации городских, жилых и промышленных зданий, сооружений и инженерных систем;

- ухудшение санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановки.

Сокращение сельскохозяйственных угодий. В результате увеличения площадей городской застройки, создания городских и пригородных парков, зон отдыха для населения городов происходит постоянное сокращение площадей прилегающих к городу сельскохозяйственных территорий, используемых для обеспечения населения продуктами питания.

Интенсификация использования энергетических ресурсов. Экологические проблемы, возникающие в результате интенсивного использования дополнительных энергетических ресурсов, необходимых для функционирования городской социальной среды, освещения территории города и эксплуатации транспортных средств, проявляются в увеличении объемов выбросов в атмосферу токсичных загрязняющих компонентов тепло- и гидроэлектростанций и автомобильного транспорта. Кроме того, использование дополнительных энергоносителей и доставка их в город создают значительные экологические нагрузки на ресурсодобывающие регионы и транспорт. Важнейшее направление деятельности, способствующей стабилизации и улучшению экологической обстановки в городах, - всемерное сокращение энергетических расходов с помощью энергосберегающих технологий и экологически чистых транспортных средств.

Загрязнение воздушной среды городов. Состояние атмосферы городов ухудшается в результате выбросов вредных веществ автомобильным транспортом, промышленными и теплоэнергетическими объектами, предприятиями черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, стройиндустрии и целлюлозно-бумажной промышленности. В крупных промышленных центрах России, по данным Минздрав-соцразвития, загрязнение атмосферного воздуха на 70...80% вызвано токсичными выхлопами автомобильного транспорта. Причинами этого являются большие транспортные потоки, высокая степень изношенности автомобилей, плохо отрегулированные двигатели внутреннего сгорания, использование этилированного бензина, содержащего вредные свинцовые добавки.

По данным, приведенным в государственном докладе «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2003г.», в 202 городах с общим населением более 64,5 млн. человек средние за год концентрации

вредных веществ - бензопирена, формальдегида, мелкодисперсной пыли, диоксида азота - в атмосферном воздухе существенно превышали предельно допустимые концентрации (ПДК).

Загрязнение воздушной среды городов можно уменьшить, модернизируя действующие промышленные и хозяйственно-бытовые объекты, теплоэлектростанции, обновляя автомобильный транспорт, а также проводя продуманную городскую планировку, включающую, в частности:

- рациональное размещение жилых и промышленных зон в городе с учетом преобладающего направления и силы ветра;
- строительство окружных шоссейных дорог для уменьшения потоков автомобильного транспорта вблизи жилых районов города.

Деградация водных ресурсов. Любой город активно влияет на состояние водных ресурсов, сбрасывая сточные воды в водные объекты. По данным, содержащимся в государственном докладе «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2004г.», санитарное состояние водоемов России, используемых для питьевого водоснабжения, продолжает оставаться неудовлетворительным. Доля проб воды, неудовлетворительных по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, ежегодно составляет 23...25%. Наиболее неудовлетворительное качество воды было зарегистрировано в следующих субъектах Российской Федерации:

- Архангельская и Ростовская область, Республика Калмыкия (по санитарно-химическим и микробиологическим показателям);
- Владимирская, Вологодская, Кировская, Тюменская, Курганская область, Республика Карелия, Ханты-Мансийский АО (по санитарно-химическим показателям);
- Республика Дагестан, г. Санкт-Петербург, Кемеровская область, Хабаровский край (по микробиологическим показателям).

Высокий уровень микробного загрязнения поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения создает трудности в водоснабжении населения города и пригородных поселков из-за необходимости дополнительной очистки и обеззараживания воды.

Загрязнение подземных водоносных горизонтов в городах чаще всего происходит в результате инфильтрации вод с улиц и дворов, протечек из канализационных систем, просачивания атмосферных осадков через свалки твердого мусора.

Загрязнение почв. Почвы крупных промышленных городов России содержат довольно большой спектр химических загрязняющих веществ. Наиболее значимым является загрязнение почв тяжелыми металлами. Так, содержание свинца и мышьяка в верхних слоях почвы в центре Москвы превышает средний уровень содержания этих элементов в земной коре более чем в 100 и 35 раз соответственно. Разумеется, не только соли тяжелых металлов загрязняют почвенный покров городов. Его загрязнителями также являются твердые и жидкие промышленные и бытовые отходы, в совокупности обуславливающие формирование в почвенном слое популяции патогенных организмов (геогельминтов, бактерий), обитающих в почве и передающихся людям, которые непосредственно контактируют с загрязненной почвой.

Изменение микроклиматической обстановки. Теплый загрязненный воздух, формирующийся над городской территорией, образует устойчивый вертикальный воздушный поток. В условиях низких зимних температур поднявшийся над городом воздух растекается к его периферии, постепенно охлаждается, опускается к земле и вновь возвращается в город. В тропических и субтропических условиях вертикальный поток воздуха, возникающий в результате нагрева поверхности улиц и зданий, препятствует прохождению над городом влажных воздушных масс и служит дополнительным фактором появления устойчивой засухи.

Геоэкологические проблемы городов. Эти проблемы весьма разнообразны и определяются, с одной стороны, природной обстановкой, а с другой - планировочными решениями и их реализацией при застройке и эксплуатации городских территорий. Преобразования геоэкологических условий в пределах городских территорий выражаются в изменении: водного баланса между поверхностными, грунтовыми и глубокими подземными водами; геодинамической ситуации; почвенно-грунтовых характеристик; состояния подземного пространства в основании города.

Обычно повышение уровня грунтовых вод в городах приводит к подъему зеркала грунтовых вод, подтапливанию оснований и фундаментов зданий и сооружений, снижению несущей способности грунтов и, как следствие, к деформации, а в критических ситуациях - к разрушению зданий и сооружений.

Осложнение санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановки. В городах она осложняется вследствие снижения иммунитета у городского населения, что связано с бактериологическими и химическими загрязнениями воздуха, воды и продуктов питания. Природные адаптационные возможности горожан могут также уменьшаться в результате нарушения естественных биоритмов, в частности, наиболее важного - циркадного (суточного) ритма. Систематическое нарушение биоритмов вызывает нарушение сложившегося оптимального состояния организма человека и способно привести к развитию патологии.

В последние годы в разных городах России участились вспышки заболеваемости гельминтозами, педикулезом, чесоткой. Прослеживается рост заболеваемости острыми кишечными инфекциями вследствие загрязнения питьевой воды возбудителями кишечных инфекций: вирусами, бактериями, цистами лямблий, амебами, криптоспоридиями. Требуется тщательного контроля регуляция численности популяций одичавших кошек, собак, подвальных комаров, крыс, мышей, тараканов и других организмов, служащих переносчиками возбудителей опасных инфекционных заболеваний.

Особые условия сложились в городах, входящих в состав промышленных территориально-производственных комплексов. Например, в районах расположения химической и нефтехимической промышленности широко распространены аллергические заболевания (дерматиты, бронхиты, бронхиальная астма и т. п.).

Таким образом, современный большой город представляет собой чрезвычайно сложную систему и характеризуется: непрерывным и интенсивным ростом городской площади, численности и плотности населения; концентрацией в городах больших масс населения на сравнительно небольших пространствах земли; наличием фабрик, заводов, административных учреждений и возникновением ряда

специфических экологических проблем (комплексное решение которых с учетом сохранения окружающей природной среды и здоровья городского населения представляет важнейшую государственную задачу).

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите факторы, обуславливающие состав и остроту экологических проблем в городской среде.
2. Что такое «расползание городов»? Каковы негативные последствия этого процесса для окружающей среды?
3. Укажите основные причины напряженной санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановки в городах.
4. Назовите главный фактор обострения экологической ситуации в мегаполисах.
5. В чем проявляется ухудшение здоровья населения под воздействием неблагоприятной окружающей среды в крупных промышленных городах?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обладая огромными техническими возможностями в области природопользования, человек часто нарушает естественный ход природных процессов и таким образом ухудшает качество среды своего обитания, осложняет современную экологическую ситуацию. Масштабы отрицательных последствий технологического прогресса особенно огромны. Проблема загрязнения природной среды становится столь острой из-за роста объемов промышленного и сельскохозяйственного производства, вызванного резким увеличением населения Земли.

В эпоху ускоренного развития научно-технического прогресса особого внимания требует защита окружающей среды, обеспечение ответственности человека за состояние природы перед нынешними и будущими поколениями. Решение экологических проблем и оптимизация (гармонизация) воздействия человека на природу зависят от всех, но в первую очередь от тех, кто участвует в производственных процессах, являющихся основными факторами ухудшения экологической обстановки. В существенной степени эффективное природопользование зависит от руководителей производства, от их отношения к природе. Знание основных механизмов целостного функционирования экосистем и объективных закономерностей их развития, а также наиболее важных положений природоохранного законодательства должно быть частью профессиональной подготовки инженерно-технических специалистов.

Продолжающееся использование устаревших технологий в промышленности России, большая изношенность оборудования, несовершенство действующего природоохранного законодательства, разрешающего предприятиям платить штрафы за экологический ущерб по льготным ставкам, не позволяют снизить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду и здоровье населения.

В большинстве стран мира ужесточается природоохранное законодательство. В ближайшем будущем это приведет к росту доли «экологических» расходов в сумме общих затрат в промышленности, что обусловит необходимость снижения удельных издержек производства, связанных с образованием отходов, в расчете на единицу продукции. В настоящее время затраты большинства крупнейших

промышленных предприятий России на природоохранную деятельность не превышают 1...3% от себестоимости продукции и не способствуют реальному сохранению природной среды и охране здоровья проживающего на индустриальных территориях населения.

Ожидаемые изменения в государственной экологической политике (ужесточение законодательства, повышение штрафов за экологический ущерб, обязательность экологической экспертизы проектов и т. д.) и необходимость использования современных технологий и инженерных решений, отвечающих строгим экологическим нормам на мировом рынке, должны заставить отечественных производителей модернизировать существующие производства. Важно, чтобы это не откладывалось на далекую перспективу.

Одним из приоритетных направлений развития современных технологий становится, наряду со снижением энергоемкости, повышение уровня их экологичности.

В XXI в. инженер, разрабатывающий и внедряющий в производство новые технологии, обязан заботиться об обеспечении благоприятной для человека природной среды. Обладая экологическим мировоззрением, современный инженер должен рассматривать и решать проблемы сохранения окружающей среды в комплексе с техническими вопросами.

СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Абиотическая среда - неживое физическое и химическое окружение живых организмов.

Абиотические факторы среды - компоненты и явления неживой, неорганической природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы (климатические, почвенные и гидрографические факторы).

Автотрофы - организмы, синтезирующие из неорганических соединений органическое вещество с использованием энергии солнца или энергии, освобождающейся при химических реакциях.

Агрэкосистема - искусственная экосистема, основные функции которой поддерживаются агрономическими мероприятиями: вспашкой, селекцией, внесением удобрений и ядохимикатов. От природных экосистем этот тип экосистем отличается небольшим разнообразием видов, доминированием культурных растений или домашних животных.

Азотфиксаторы - микроорганизмы, способные фиксировать атмосферный азот, недоступный для других организмов.

Аккумуляция загрязнений - накопление в живых организмах химических загрязняющих веществ в концентрациях, превосходящих таковые в окружающей среде.

Антропогенная нагрузка - совокупное воздействие всех видов человеческой деятельности на земельные ресурсы, водные и воздушные среды, растительный и животный мир, недра Земли.

Антропогенное воздействие на природу - прямое или косвенное воздействие человека и результатов его деятельности на природную среду, вызывающее изменение естественных ландшафтов и отдельных компонентов экосистем.

Антропогенное загрязнение - загрязнение биосферы в результате биологического существования и хозяйственной деятельности людей, в том числе их прямого или косвенного влияния на интенсивность природного загрязнения.

Антропогенные (антропотехногенные) факторы - условия среды обитания организмов, сформировавшиеся в результате хозяйственной деятельности человека (химическое загрязнение, разрушение природных комплексов и др.).

Бентос - совокупность организмов (животных и растений), обитающих на дне водоемов.

Биогенное вещество - геологические породы, созданные в результате жизнедеятельности живых существ (известняки, песчаники, железные руды, каменный уголь, нефть и пр.).

Биогеохимические циклы - циклические процессы обмена веществ между различными компонентами биосферы, обусловленные жизнедеятельностью организмов.

Биогеоценоз - эволюционно сложившаяся, пространственно ограниченная, длительно самоподдерживаемая, однородная экологическая система, в которой функционально взаимосвязаны живые организмы и окружающая их абиотическая среда.

Биокосное вещество - комплексы тесно взаимодействующих элементов живого и косного вещества (например, почва).

Биологическая продуктивность - скорость образования органического вещества (биомассы) в экосистеме или ее частях на единице площади (объема) за единицу времени.

Биологическое самоочищение - способность биоценозов ликвидировать присутствие загрязняющих веществ в экосистеме в процессе жизнедеятельности организмов.

Биологическое сообщество - совокупность всех популяций, занимающих определенное, относительно ограниченное пространство.

Биом - наиболее крупные наземные экосистемы, соответствующие основным природно-климатическим зонам Земли и характеризующиеся определенным типом растительности и животного мира.

Биомасса - масса живого вещества организма, популяции или совокупности популяций видов на той или иной территории или акватории.

Биосфера - область существования и функционирования организмов на Земле, охватывающая нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу, поверхность суши и верхние слои литосферы.

Биота - исторически сложившаяся совокупность живых организмов в составе экосистемы.

Биотические факторы - условия жизнедеятельности организма, обусловленные прямым или косвенным (через изменение среды обитания) воздействием других организмов.

Биотический потенциал - максимальная, наследственно обусловленная скорость роста (r) популяции, представляющая собой разность между удельной рождаемостью (b) и удельной смертностью (d): $r = b - d$.

Биотоп (экотоп) - относительно однородное по основным абиотическим факторам пространство, занятое биоценозом.

Биоценоз - сообщество взаимосвязанных живых организмов в любой экосистеме, состоящее из автотрофных и гетеротрофных организмов, которые населяют один биотоп.

Вид - совокупность однородных организмов, связанных единством происхождения, образом жизни и местом обитания.

Видимое излучение - электромагнитное излучение, вызывающее зрительное ощущение и занимающее участок спектра от 380 до 780 нм.

Видовое разнообразие - многообразие (число) видов в биоценозе определенной экосистемы.

Вторичная биологическая продуктивность - биомасса, а также энергия и биогенные летучие вещества, производимые всеми консументами (гетеротрофами) на единице площади за единицу времени.

Гетеротипические реакции - совокупность взаимодействий между особями разных видов, обитающих в одном биоценозе.

Гетеротрофы - организмы, использующие для питания исключительно или преимущественно органические вещества, произведенные другими видами (автотрофами), и неспособные синтезировать вещества своего тела из неорганических веществ (животные, грибы, большинство бактерий).

Гидробионты - организмы, постоянно обитающие в водной среде.

Гидросфера - прерывистая водная оболочка Земли, представляющая собой совокупность океанов, морей, пресных континентальных вод (поверхностных и подземных) и ледяных покровов.

Гомеостаз - состояние внутреннего динамического равновесия экосистемы, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур и веществ.

венного состава, а также постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее звеньях.

Групповой эффект - тип биотического фактора, выражающийся в повышении жизнеспособности организмов одного вида при их объединении в группы.

Гумус - органическое вещество почвы, образующееся за счет разложения растительных и животных остатков и служащее показателем плодородия почвы.

Деградация экосистем - обратимые или необратимые изменения в структуре и функциях экосистем, вызванные внешними негативными воздействиями.

Детрит - мертвое органическое вещество в водной среде, представляющее собой мелкие частицы остатков организмов и их выделений, взвешенные в воде или осевшие на дно водоема.

Детритная пищевая цепь - тип пищевой цепи, начинающейся с гетеротрофных микроорганизмов и продолжающейся к плотоядным мелким и крупным хищникам (консументам).

Доминант - вид, количественно преобладающий в биологическом сообществе.

Дыхание - биохимический процесс окисления органических веществ в клетках живых организмов, сопровождающийся выделением энергии, используемой организмами для осуществления жизнедеятельности.

Емкость среды - способность природной среды обеспечивать нормальную жизнедеятельность определенному числу организмов и их сообществ без заметного нарушения самого окружения.

Живое вещество - вся совокупность биологической массы живых организмов на Земле.

Загрязнение природной среды - привнесение в среду или возникновение в ней новых (нехарактерных для нее) физических, химических или биологических агентов, или превышение естественного среднего многолетнего уровня концентрации тех же агентов в рассматриваемый период.

Загрязненность - степень насыщения окружающей среды различными загрязнителями.

Загрязнители - природные и антропогенные физические агенты, химические вещества или биологические виды, попадающие в окружающую среду или возникающие в ней в количествах, превышающих обычный для них уровень.

Закон минимума (Ю. Либиха) - закон, согласно которому при стационарном (стабильном) состоянии экологических факторов лимитирующим будет тот из них, значение которого наиболее близко к минимуму.

Климаксная экосистема - «финальная», относительно устойчивая фаза развития экосистемы, наиболее соответствующая экологическим характеристикам данной местности.

Консумент - организм, питающийся живым органическим веществом (животные, часть микроорганизмов, паразитические и насекомоядные растения).

Косное вещество - геологические образования, не созданные живыми организмами.

Лимитирующий фактор - фактор среды, выходящий за пределы выносливости организма и ограничивающий его нормальное функционирование.

Литосфера - внешняя сфера «твердой» Земли, включающая земную кору и верхнюю часть подстилающей ее верхней мантии.

Макроэлементы - важнейшие биогенные элементы, составляющие более 70 % всей биомассы и присутствующие в клетках всех видов организмов (кислород, углерод, водород, азот, кальций, калий, фосфор, магний, сера, хлор, натрий).

Массовый эффект - тип биотического взаимодействия между особями одного вида, при котором чрезмерное увеличение плотности популяции приводит к снижению плодовитости, уменьшению скорости роста, сокращению продолжительности времени жизни животных.

Метаболизм - процессы обмена веществ в организме, включающие синтез и распад органических веществ.

Микроэлементы - химические элементы, содержащиеся в организмах в низких концентрациях (обычно тысячные доли процента и ниже), но играющие важную роль в определенных процессах жизнедеятельности (алюминий, железо, медь, цинк, марганец, никель, йод, селен, бром, фтор, бор и др.).

Минеральное питание - извлечение корнями растений из почвы питательных веществ посредством поглощения ионов из почвенного раствора.

Мониторинг окружающей природной среды - долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением и происходящими в ней природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния природной среды и ее загрязнения.

Ноосфера - высшая стадия развития биосферы (согласно учению В.И. Вернадского), связанная с возникновением и становлением в ней цивилизованного человечества, когда его разумная деятельность становится главным определяющим фактором целесообразного развития.

Норма загрязнения - максимальная концентрация веществ, поступающих или содержащихся в среде, допускаемая нормативными актами.

Органические вещества - сложные химические соединения, в состав которых входит углерод (белки, жиры, углеводы, ферменты, гормоны, витамины и продукты их превращений).

Осморегуляция - физико-химический процесс поддержания давления жидкости внутри тела.

Осмоз - прохождение воды через мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор в результате воздействия давления, превышающего разницу осмотических давлений обоих растворов.

Охрана природы - комплекс мер по сохранению, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов Земли, в том числе видового разнообразия флоры и фауны, богатства недр, чистоты вод и атмосферы.

Парниковый эффект - повышение температуры воздуха, обусловленное прозрачностью атмосферы для основной части излучения Солнца (в оптическом диапазоне) и поглощением атмосферой основной (инфракрасной) части теплового излучения поверхности планеты, нагретой Солнцем.

Патогенные микроорганизмы - микроорганизмы (бактерии и вирусы), эволюционно приспособившиеся к паразитированию в живом организме и способные вызывать инфекционные болезни.

Пестициды - химические соединения, используемые для защиты растений, сельскохозяйственных продуктов от организмов-вредителей.

Пионерный вид - вид, первым заселяющий безжизненные участки.

Пищевая сеть - все разнообразие пищевых взаимоотношений между организмами в биогеоценозе или в экосистеме.

Планктон - совокупность водных организмов (микроскопические водоросли, простейшие, некоторые ракообразные, медузы, моллюски, личинки и др.), пассивно обитающих в толще воды и неспособных активно сопротивляться переносу течениями.

Популяция - группа особей одного вида, населяющих конкретное пространство в течение длительного времени, свободно скрещивающихся друг с другом, имеющих общее происхождение, генетическую основу и в той или иной степени изолированных от других популяций данного вида.

Порог вредного действия - минимальная доза вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Пороговая концентрация - содержание загрязнителя в среде обитания, вызывающее достоверные изменения в численности или жизнедеятельности тест-организмов.

Предел толерантности - см. пределы выносливости.

Пределы выносливости - диапазон значений фактора, за пределами которого нормальная жизнедеятельность организмов становится невозможной.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) - максимальная концентрация загрязняющего химического вещества в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не вызывает негативных воздействий на организм человека или другого организма и его потомков.

Природные ресурсы - природные объекты и явления, потенциально пригодные для использования в качестве средств труда, источников энергии, сырья и материалов, предметов потребления.

Природные ресурсы возобновимые - часть природных ресурсов, находящаяся в пределах биосферного круговорота веществ и скорость восстановления которых сравнима со скоростью их расходования.

Природные ресурсы невозобновимые - часть природных ресурсов, которая не восстанавливается в процессе биосферного круговорота веществ за время, соизмеримое с темпом хозяйственной деятельности человека.

Продуценты - организмы, производящие органические вещества из неорганических соединений с использованием энергии Солнца (автотрофы) или энергии, освобождающейся при химических реакциях (хемотрофы).

Редуценты - гетеротрофные организмы (бактерии, грибы, некоторые беспозвоночные), которые используют в процессе жизнедеятельности мертвые органические вещества, разрушая их до минеральных веществ.

Симбиоз - тип взаимоотношений организмов разных систематических групп, благоприятных для их роста и выживания.

Среда жизни - часть природной среды, которая окружает организмы и оказывает прямое или косвенное воздействие на их состояние, развитие, выживание и размножение.

Стенобионты - организмы, способные существовать лишь в строго определенных условиях окружающей среды и не переносящие их изменений.

Стратификация водоема - подразделение всей массы воды в водоемах на ряд слоев, отличающихся по температуре, солености и ряду других физико-химических факторов.

Сукцессия - последовательная смена экосистем, преемственно возникающих на определенном участке земной поверхности под влиянием процессов внутреннего развития биологических сообществ, их взаимодействия с окружающей средой.

Тератогенез - возникновение уродств в результате ненаследственных и наследственных изменений (мутаций).

Тест-организмы - специально выбранные организмы для проведения токсикологических экспериментов в лабораторных условиях.

Техносфера - часть географической оболочки Земли, находящаяся под влиянием технических устройств и средств, созданных современной цивилизацией, на которой расположены населенные пункты, фабрики, дороги, нефте- и газопроводы, системы связи, электростанции, ирригационные и дренажные сооружения, сельхозугодья и т. д.

Токсиканты - опасные для здоровья человека и существования других организмов ядовитые химические вещества, которые при попадании в окружающую среду могут прямо или косвенно ухудшить ее качество и снизить устойчивость экологической системы.

Токсичность - свойство химических соединений оказывать вредное или летальное действие на организмы.

Тяжелые металлы - металлы с плотностью, большей чем у железа (свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, сурьма, олово, ртуть, висмут), обладающие высокой токсичностью и способностью накапливаться в организмах.

Ультрафиолетовое излучение - оптическое излучение с длинами волн в вакууме от 10 до 400 нм.

Урбанизация - процесс сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах.

Условия жизни - совокупность экологических факторов, влияющих на жизнь организмов.

Устойчивое развитие - стратегия развития цивилизации, при котором человечество способно только удовлетворять свои потребности, не разрушая потенциал, позволяющий будущим поколениям также удовлетворять свои потребности.

Устойчивость организмов и экосистем - способность оставаться относительно неизменными в течение определенного периода несмотря на внешние воздействия.

Фактор - условие, влияющее на совершающиеся процессы, или движущая сила этих процессов.

Фермент - биологический катализатор по химической природе - белок или рибонуклеиновая кислота. Ферменты обязательно присутствуют во всех клетках живого организма. Ускоряя биохимические реакции, ферменты направляют и регулируют обмен веществ.

Фитопланктон - совокупность микроскопических растений, являющихся основными продуцентами в водных экосистемах и обитающих в толще морских и пресных вод.

Фитоценоз - устойчивая естественная группировка видов растений в пределах одного биоценоза.

Хлорофилл - зеленый пигмент растений, обеспечивающий преобразование солнечной энергии в энергию химических связей органических веществ в процессе фотосинтеза.

Эврибионт - организм, способный существовать в разнообразных условиях внешней среды.

Эвтрофирование (эвтрофикация) - повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или природных факторов.

Эдификатор - 1) вид, играющий основную роль в образовании в экосистеме определенной среды для всего биоценоза; 2) вид растений, играющий ведущую роль в образовании структуры и функционировании фитоценоза, без которого тот не может существовать длительное время.

Экологическая зональность водоемов - смена условий существования организмов от поверхности в глубину водной толщи и от прибрежных зон к открытым частям водоема.

Экологический кризис - критическое (обратимое или необратимое) состояние окружающей среды, угрожающее существованию человека и природным экосистемам.

Экологический норматив - величина антропогенной нагрузки, рассчитанная на основании экологических нормативных актов (регламентов) и получившая правовой статус.

Экологический оптимум - диапазон значений экологического фактора, максимально благоприятный для жизнедеятельности организмов или экосистем.

Экологический пессимум - наименее благоприятные условия для существования организмов.

Экологический риск - вероятность и масштаб неблагоприятных для экологических ресурсов последствий любых антропогенных изменений природных объектов.

Экологический фактор - любой элемент или свойство среды, способные оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Экологическое нормирование - нормирование антропогенного воздействия на экосистему в пределах ее экологической емкости, не приводящего к нарушению механизмов саморегуляции.

Экология - наука о составе, структуре, свойствах, функциональных особенностях и эволюции систем надорганизменного уровня, популяционных экосистем и биосферы.

Экосистема - единый природный или природно-антропогенный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные экологические компоненты соединены между собой причинно-следственными связями, обменом веществ и распределением потока энергии.

Экотоп - см. биотоп.

Ярус автотрофный - ярус экосистемы, включающий растения, куда проникает солнечный свет и где преобладают автотрофные процессы (фотосинтез).

Ярус гетеротрофный - нижний ярус экосистемы, куда не проникает солнечный свет (почва, глубокие слои водоемов) и где преобладают гетеротрофные процессы.

Ярусность сообщества - вертикальная расчлененность биоценозов по структурным и функциональным параметрам.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Абдурахманов Г.М., Лопатин И.К., Исмаилов Ш.И. Основы зоологии и зоогеографии: Учебник. - М: Академия, 2001.

Воронков Н.А. Экология общая, социальная, прикладная: Учебник. -М.: Агар, 1999.

Горелов АЛ. Экология: Учеб. пособие. - М.: Центр, 2000.

Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. Экология: Учеб. пособие. -М: МГУЭЭИ, 2000.

Одум Ю. Экология: Пер. с англ.: В 2 т. - М.: Мир, 1986.

Рамад Ф. Основы прикладной экологии. -Л.: Гидрометеиздат, 1981.

Сытник К.М., Брайон А.В., Городецкий А.В. Биосфера. Экология. Охрана природы: Справ, пособие. - Киев: Наукова думка, 1987.

Федоров В.Д., Гильманов Т.Г Экология. - М.: Изд-во МГУ, 1980.

Чернова Н.М., Былова А.М. Экология: Учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
1. Взаимоотношения человека и природы (исторический аспект).....	10
2. Экология как наука	23
3. Структура биосферы.....	33
4. Экологические факторы среды.....	45
5. Абиотические факторы среды	54
6. Биотические факторы. Формы биологических отношений в сообществах...	65
7. Антропогенные факторы	75
8. Гидросфера как среда жизни.....	102
9. Наземно-воздушная, почвенная и организменная среды жизни	117
10. Биогеохимические циклы.....	128
11. Экология популяций	141
12. Структура и функции экосистем.....	154
13. Развитие и эволюция экосистем	174
14. Нормирование качества окружающей среды	186
15. Мониторинг окружающей среды	197
16. Глобальные экологические проблемы.....	205
17. Экологические проблемы городов	219
Заключение.....	225
Словарь основных экологических терминов	227
Список рекомендуемой литературы.....	237

Учебное издание

Экология

Редактор *И.М. Маслова* Художник *С.С. Водчиц*

Корректоры: *М.А. Василевская, Р.В. Царева*

Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99 02.953.Д.00568.09.04 от 13.09.2004 г.

Подписано в печать 22.06.2006. Формат 60х90/16. Бумага офсетная.

Печ. л. 15.

УЧ.-ИЗД. Л. 14,87. Тираж 1500 экз. Заказ №3910

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУН ППП «Типография «Наука»

121099, Москва, Шубинский пер., 6