

А.А. Челноков  
К.Ф. Саевич  
Л.Ф. Ющенко

# Общая и прикладная ЭКОЛОГИЯ

---

*Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия  
для студентов учреждений  
высшего образования по специальностям  
«Медико-биологическое дело»,  
«Медицинская экология»*

Под общей редакцией К.Ф. Саевича

**УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ,  
ДИССЕРТАЦИИ -**  
полные тексты  
На сайте электронной библиотеки  
[www.учебники.информ2000.рф](http://www.учебники.информ2000.рф)

**НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:**

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты,  
чертежи...
3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе

**ТЕХНИКА**

Приглашаем авторов

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

УДК 574(075.8)  
ББК 20.1я73  
Ч-41

Рецензенты: кафедра биологии человека и экологии УО «Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова» (заведующий кафедрой доцент *Е.Ю. Жук*); заведующий кафедрой общей биологии УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» кандидат биологических наук, доцент *В.В. Маврицев*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

**ISBN 978-985-06-2400-0**

© Челноков А.А., Саевич К.Ф.,  
Ющенко Л.Ф., 2014  
© Оформление. УП «Издательство  
“Вышэйшая школа”», 2014

Вернуться в каталог учебников  
<http://учебники.информ2000.рф/учебники.shtml>

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АДФ	–	аденозиндифосфорная кислота
АПЗ	–	архитектурно-планировочное задание
АТП	–	автотранспортный поток
АТФ	–	аденозинтрифосфорная кислота
АХОВ	–	аварийно химически опасные вещества
АЭ	–	акустический экран
АЭС	–	атомная электрическая станция
Б	–	биофильность
БИКР	–	ближняя инфракрасная радиация
БОВ	–	боевые отравляющие вещества
БПК	–	биологическая потребность в кислороде
ВВП	–	валовой внутренний продукт
ВВТ	–	вооружение и военная техника
ВДВ	–	временно допустимый выброс
ВИЧ	–	вирус иммунодефицита человека
ВМО	–	Всемирная метеорологическая организация
ВМР	–	вторичный материальный ресурс
ВНДС	–	временный норматив допустимого сброса
ВНП	–	валовой национальный продукт
ВОЗ	–	Всемирная организация здравоохранения
ВПУ	–	вихревой пылеуловитель
ВСВ	–	временно согласованный выброс
ВЭР	–	вторичный энергетический ресурс
ГАА	–	геохимическая антропогенная аномалия
ГВВ	–	газовоздушный выброс
ГИС	–	географическая информационная система
ГЛО	–	газовое лучистое отопление
ГМП	–	генетически модифицированный продукт
ГН	–	гигиенический норматив
ГОУ	–	газоочистная установка
ГПР	–	группа популяционного ранга
ГХБ	–	гексахлорбензол
ГЭС	–	гидроэлектростанция
ГЭФ	–	Глобальный экологический фонд
ДА	–	деструктивная активность

ДДТ	– дихлордифенил трихлорметилметан
ДК	– допустимая концентрация
ДНК	– дезоксирибонуклеиновая кислота
ДТП	– дорожно-транспортное происшествие
ДУ	– допустимый уровень
ДЭ	– диоксиновый эквивалент
ЕМЕП	– Совместная программа наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе
ЕС	– Европейский союз
ЕЭК	– Европейская экономическая комиссия ООН
ЖКТ	– желудочно-кишечный тракт
ЖЦП	– жизненный цикл продукции
ЗСО	– зона санитарной охраны
ИАП	– изношенная автомобильная покрышка
ИЗА	– индекс загрязнения атмосферы
ИЗВ	– индекс загрязнения воды
ИНФОР	– информационное оружие
ИПС	– информационно-поисковые и справочные станции
ИР	– информационные ресурсы
ИСО	– Международная организация по стандартизации
КВИО	– коэффициент возможности ингаляционного отравления
ККЗ	– коэффициент концентрации загрязнения
КО	– коммунальные отходы
КОАП	– Кодекс об административных правонарушениях
КПД	– коэффициент полезного действия
ЛОС	– летучее органическое соединение
ЛПВ	– лимитирующий показатель вредности
ЛЭП	– линия электропередачи
МАГАТЭ	– Международное агентство по атомной энергии
МБП	– Международная биологическая программа
МКОСР	– Международная комиссия по окружающей среде и развитию
МСОП	– Международный союз охраны природы
МЭС	– Межгосударственный экономический совет
НДВ	– норматив допустимого выброса
НДС	– норматив допустимого сброса



НМЛОС	–	неметановые летучие органические соединения
НМУ	–	неблагоприятные метеорологические условия
НПА	–	нормативный правовой акт
НПВ	–	неприятнопахнущий выброс
НСМОС	–	Национальная система мониторинга окружающей среды
НСУР	–	национальная стратегия устойчивого развития
ОБУВ	–	ориентировочно безопасный уровень воздействия
ОВОС	–	оценка воздействия на окружающую среду
ОДК	–	ориентировочно допустимая концентрация
ОДУ	–	ориентировочно допустимый уровень
ОЖЦ	–	оценка жизненного цикла
ОНМ	–	отработанное нефтяное масло
ОНП	–	отработанный нефтепродукт
ООН	–	Организация Объединенных Наций
ООПТ	–	особо охраняемая природная территория
ОПС	–	окружающая природная среда
ОРВ	–	озоноразрушающее вещество
ОЭСР	–	Организация экономического сотрудничества и развития
ПАВ	–	поверхностно-активное вещество
ПАН	–	пероксиацилнитрат
ПАУ	–	полициклический ароматический углеводород
ПБН	–	пероксибензоилнитрат
ПДК	–	предельно допустимая концентрация
ПДУ	–	предельно допустимый уровень
ПЗА	–	потенциал загрязнения атмосферы
ПР ООН	–	Программа развития ООН
ПХБ	–	полихлорированный бифенил
ПХДД	–	полихлорированный дибензопарадиоксин
ПХДФ	–	полихлорированный дибензофуран
ПЭВМ	–	персональная электронно-вычислительная машина
ПЭК	–	производственный экологический контроль
ПЭТ	–	полиэтилентерефталат
РД	–	руководящий документ
РДУ	–	республиканский допустимый уровень
РЗЭ	–	редкоземельный элемент
РЦРКМ	–	Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды

СанПиН	– санитарные правила и нормы
СВЧ	– сверхвысокочастотный
СЗЗ	– санитарно-защитная зона
СИТЕС	– Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения
СМИ	– средства массовой информации
СНБ	– строительные нормы Республики Беларусь
СНГ	– Содружество Независимых Государств
СНиП	– строительные нормы и правила
СОЗ	– стойкий органический загрязнитель
СПИД	– синдром приобретенного иммунодефицита
СТБ	– стандарт Республики Беларусь
СУОС	– система управления окружающей средой
Т	– технофильность
ТГД	– техногенное геохимическое давление
ТерКСООС	– территориальная комплексная схема охраны окружающей среды
ТКО	– твердый коммунальный отход
ТКП	– технический кодекс установившейся практики
ТМ	– тяжелый металл
ТНПА	– технический нормативный правовой акт
ТПК	– территориально-производственный комплекс
ТР	– технический регламент
ТХВ	– трибохимический восстановитель
ТХДД	– тетрахлородибензопарадиоксин
ТЭ	– тротиловый эквивалент
ТЭЦ	– тепловая электростанция
УЗ	– уровень звука
УЗД	– уровень звукового давления
УФ	– ультрафиолетовый
ФАО	– Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
ФАР	– фотосинтетически активная радиация
ФПР	– форма популяционного ранга
ХПК	– химическая потребность в кислороде
ХФУ	– хлорфторуглеродород
ЦВЕ	– Центрально-восточная Европа
ЦНС	– центральная нервная система

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

ЧАЭС	– Чернобыльская атомная электрическая станция
ЧС	– чрезвычайная ситуация
ЭМИ	– электромагнитное излучение
ЭМП	– электромагнитное поле
ЭПРУ	– электронное пускорегулирующее устройство
ЭСО	– экологическая служба организации
Эспо	– Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте
ЮНЕП	– Программа ООН по окружающей среде
ЮНЕСКО	– Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры
ISO	– Международная организация по стандартизации
LCA	– Life Cycle Assessment (оценка жизненного цикла)
pH	– концентрация водородных ионов
SAR	– удельная поглощенная мощность
SCOPE	– общество сохранения и защиты окружающей среды при ООН

## ОТ АВТОРОВ

В начале третьего тысячелетия нашей эры человечество переживает самый сложный этап своей биографии. Никогда прежде наш земной дом не подвергался таким политическим, физическим и духовным перегрузкам, так как никогда прежде человек не собирал такую тяжкую дань с природы и не оказывался таким уязвимым перед той технической мощью, которую сам же и создал. Изменения в биосфере, являющиеся результатом активной человеческой деятельности за последние столетия (флуктуации погодных условий и климата, глобальное загрязнение окружающей природной среды, опустынивание планеты, разрушение озонового слоя и др.), известны сейчас каждому человеку. Сегодня уже нет необходимости доказывать, что условия природно-материальной жизни общества, послужившие основанием его развития, по существу уже исчерпаны.

Нависла реальная угроза существования человека как биологического вида на нашей планете. Сохранить человечество – главная задача и проблема всего общества. Для ее решения необходимо объединить все имеющиеся интеллектуальные и экономические усилия, забыть религиозные, национальные и политические распри.

Научным и методологическим инструментом для решения проблемы выживания и сохранения оптимальной природной среды является *экология* – наука, призванная выявлять закономерности взаимосвязи природы и человека, природы и общества, оценивать состояние природной среды, прогнозировать ее изменения, выработать конкретные механизмы регулирования и оптимизации взаимодействия между техногенной деятельностью и природой, определять стратегию дальнейшего движения прогресса земной цивилизации.

За последнее столетие неизмеримо выросли не только масштабы человеческой деятельности, но и масштабы экологических исследований, их теоретический и методический уровень. При этом характерно внедрение в экологию энергетической оценки анализируемых процессов, системного анализа, математического моделирования, использование прецизионной аппаратуры не только в лабораторных условиях, но и не-

посредственно в полевых наблюдениях, непрерывного мониторинга состояния окружающей среды с одновременной математической обработкой полученных данных и т.д. В связи с этим неизбежно произошли концептуальные изменения в самой экологии.

В настоящее время специалист в любой сфере деятельности должен обладать экологическими знаниями, понимать сущность современных проблем взаимодействия общества и природы, разбираться в причинной обусловленности возможных негативных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую природную среду. Он обязан уметь квалифицированно оценивать характер, направленность и последствия влияния конкретной деятельности человека на природу, решать производственные задачи с соблюдением соответствующих природоохранных требований, вырабатывать и осуществлять научно обоснованные решения экологических проблем.

Отсюда особенно велика роль подготовки экологических кадров, и в целом экологического образования и воспитания населения страны.

Имеющиеся немногочисленные учебные пособия по экологии носят, как правило, либо узкоутилитарный характер, либо, наоборот, совершенно не соотносятся с потребностями и интересами специалистов, не способны удовлетворять запросы их практической деятельности. Последнее, к сожалению, характерно для содержания экологического образования, осуществляемого в стенах учреждений образования различных уровней.

Между тем в складывающихся условиях именно система образования должна взять на себя основную ответственность за решение важнейшей задачи экологического воспитания и образования широких слоев населения. Она призвана, с одной стороны, обеспечить трансляцию достоверных, научно обоснованных сведений экологического характера широким массам населения, а с другой – максимально содействовать переводу знаний и представлений людей об окружающей среде и своих связях с ней в план их практической деятельности. Поэтому особую актуальность приобретает задача подготовки специалистов, способных в полной мере осуществлять упомянутые функции.

Настоящее учебное пособие составлено на основе курсов лекций различных экологических дисциплин, читаемых авторами в разное время в Белорусском национальном техниче-

ском университете, Белорусском государственном технологическом университете (Белорусском технологическом институте имени С.М. Кирова), Международном государственном экологическом университете имени А.Д. Сахарова, ГУО «Институт повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов промышленности “Кадры индустрии”» Министерства промышленности Республики Беларусь, ГУО «Республиканский учебный центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров в области охраны окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и других, а также практической деятельности авторов в области экологической безопасности.

Учебное пособие определяет современную экологию как междисциплинарный комплекс знаний, связывающий воедино основные положения общей и прикладной экологии, природопользования и науки об окружающей человека среде. Материал построен на системной основе, дающей цельное представление об экологических закономерностях взаимодействия общества, техники и природы.

Материал учебного пособия составлен на основе действующих правовых актов по охране окружающей среды и рациональному природопользованию. Поскольку некоторые главы пособия по существу отражают материал самостоятельных дисциплин, которым посвящена обширная специальная литература, в них приводятся лишь сведения, необходимые для усвоения общих закономерностей, относящихся к предмету изучения. Более полную информацию по рассматриваемым вопросам читатель может получить из оригинальных документов по соответствующим ссылкам в тексте пособия, а также литературе, которая использовалась при подготовке пособия и приведена в библиографическом списке.

В книге анализируются существующие в настоящее время в экологической науке различные концепции, подходы, взгляды отечественных и зарубежных ученых на проблемы, составляющие предмет современной экологии. Дается историография изучения основополагающих вопросов экологической науки, показываются различные подходы при разработке основ понятийно-категориального аппарата. Читателю предоставляется тем самым возможность самостоятельно анализировать, сравнивать, вырабатывать собственную точку зрения по каждому из освещаемых вопросов.

Излагаются основные глобальные экологические проблемы XXI в., классические свойства, законы и принципы функционирования экологических систем, биосферы и техносферы, важнейшие положения современной экологии, строение биосферы, роль живого вещества на планете и т.д. Рассматриваются основные среды жизни и адаптации к ним организмов, экологии популяций, сообществ и экосистем, дается концепция ноосферы, освещаются вопросы антропогенного воздействия на природу в целом и на отдельные ее компоненты.

Значительное внимание уделено вопросам техногенного воздействия на природу и окружающую человека среду, экологической безопасности, экологизации экономической деятельности. Сопоставлены современные концепции выхода из экологического кризиса, стратегии и условия экологически ориентированного развития общества.

В учебном пособии содержатся материалы по информационным ресурсам, информационному загрязнению и информационным войнам, которые, по мнению авторов, особенно актуальны для XXI в.

К сожалению, ограниченный объем пособия не позволил авторам детально рассмотреть многие важные и проблемные аспекты теоретической экологии, такие как динамическая теория биологических популяций, математическое и пространственное моделирование, биосферо-, техносферо- и ноосферогенез. В связи с этим авторами был использован принцип проблемности в изложении материала, который позволит заинтересованным лицам самостоятельно более углубленно изучить любой вопрос.

При подготовке учебника широко использованы материалы научных исследований, учебников и учебных пособий по теоретической и прикладной экологии, охране окружающей среды, природопользованию отечественных и зарубежных авторов. Всем им выражается глубокая признательность и благодарность.

В связи с неоднозначностью трактовок терминов и определений разными авторами терминология в учебном пособии приведена по И.И. Дедю (1989), Н.Ф. Реймерсу (1990, 1992) или первоисточникам.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по естественнонаучным, техническим, экономическим, юридическим и другим гуманитарным на-

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

правлениям и специальностям, а также для преподавателей образовательных учреждений, специалистов предприятий и природоохранных органов.

Признательность за доброжелательное и критическое отношение к рукописи авторы выражают рецензентам: доктору биологических наук, профессору кафедры биологии человека и экологии УО «Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова» А.П. Голубеву, заведующему этой кафедры кандидату биологических наук, доценту Е.Ю. Жук, заведующему кафедрой общей экологии УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» кандидату биологических наук, доценту В.В. Маврищеву, а также коллективам преподавателей этих кафедр, принявших участие в рассмотрении данной работы.



## ГЛАВА 1

### ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ

---

#### 1.1. Краткая история становления экологии как науки

Экология приобрела практический интерес еще на заре развития человечества. В примитивном обществе каждый человек для своего выживания должен был иметь определенные знания об окружающем его пространстве, растениях и животных. Принято утверждать, что цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства и орудия, позволяющие ему изменять среду своего обитания.

Как и другие области знания, экология развивалась непрерывно, но неравномерно на протяжении истории человечества. Судя по дошедшим до нас орудиям охоты, наскальным рисункам, обрядам, люди еще на заре становления человечества уже хорошо знали о повадках животных, образе их жизни, сроках сбора съедобных и лекарственных растений, о местах их произрастания, способах выращивания и ухода за ними.

Некоторые сведения подобного рода находим в сохранившихся памятниках древнеегипетской, индийской и тибетской культур. В древнеиндийских сказаниях «Махабхарата» (VI–II вв. до н.э.) даются сведения о повадках и образе жизни около 50 видов животных, сообщается об изменениях численности некоторых из них. В рукописных книгах Вавилонии есть описания способов обработки земли, указывается время посева культурных растений, перечисляются птицы и животные, вредные для земледелия. В китайских хрониках IV–II вв. до н.э. описываются условия произрастания различных сортов культурных растений.

В работах древнегреческих философов Гераклита (530–470 гг. до н.э.), Гиппократ (460–356 гг. до н.э.), Аристотеля (384–322 гг. до н.э.), Теофраста Эрезийского (372–287 гг. до н.э.), Плиния Старшего (23–79 гг.) и других содержатся сведения экологического характера. Например, Аристотель описал 500 известных ему видов животных, особенности их поведения и приспособления к условиям окружающей среды. Его ученик Теофраст Эрезийский описывал особенности

роста растений и их формы в зависимости от грунта и климата. В его работах впервые было предложено разделить покрытосеменные растения на основные жизненные формы: деревья, кустарники, полукустарники, травы. К этому же периоду относится знаменитая «Естественная история» Плиния Старшего (23–79 гг. н.э.).

В Средние века в Европе интерес к изучению природы ослабевает, подменяясь схоластикой и богословием. Жизнь на Земле толковалась исключительно как воплощение воли Бога. Людей сжигали на кострах не только за идеи развития природы, но и за чтение книг древних философов. В этот период, затянувшийся на целое тысячелетие, только единичные труды содержат факты научного значения. Большинство же сведений имеют прикладной характер. Описываются целебные травы, сельскохозяйственные растения и животные, природа далеких стран (Марко Поло, XIII в., Афанасий Никитин, XV в.).

Началом новых веяний в науке в период позднего Средневековья являются труды Альберта Великого (Альберт фон Больштедт, 1193–1280 гг.). В своих книгах о растениях он придает большое значение условиям их местообитания, где помимо почвы важное место уделяет солнечному теплу; рассматривая причины зимнего сна у растений, размножение и рост организмов, ставит их в неразрывную связь с питанием.

Крупными сводами средневековых знаний о живой природе являлись многотомное «Зеркало природы» Венсенале Бове (XIII в.), «Поучение Владимира Мономаха» (XI в.), «О поучениях и сходствах вещей» доминиканского монаха Иоанна Сиенского (начало XIV в.).

В эпоху Возрождения продолжалось накопление данных о растительном и животном мире. Первые систематики Д. Цезалпин (1519–1603), Д. Рей (1627–1705), Ж. Турнефор (1656–1708) в своих трудах приводят сведения экологического характера, в частности, зависимость распространения растений от условий их произрастания. Все перечисленные творения представляют собой *первый этап* «стихийной» экологии – этап накопления эмпирических знаний.

*Второй этап* развития науки связан с крупномасштабными ботанико-географическими исследованиями в природе. Подлинным основоположником экологии растений принято считать А. Гумбольдта (1769–1859), опубликовавшего в 1807 г. работу «Идеи о географии растений», где на основе своих

многолетних наблюдений в Центральной и Южной Америке он показал значение климатических условий, особенно температурного фактора, для распределения растений. В сходных зональных и вертикально-поясных географических условиях у растений разных таксономических групп вырабатываются сходные «физиономические» формы, т.е. одинаковый внешний облик. По распределению и соотношению этих форм можно судить о специфике физико-географической среды.

Появились первые специальные работы, посвященные влиянию климатических факторов на распространение и биологию животных.

В 1832 г. О. Декандоль (1778–1841) обосновал необходимость выделения особой научной дисциплины «эпиррелогии», изучающей влияние на растения внешних условий и воздействие растений на окружающую среду. Декандоль писал: «Растения не выбирают условия среды, они их выдерживают или умирают. Каждый вид, живущий в определенной местности, при известных условиях представляет как бы физиологический опыт, демонстрирующий нам способ воздействия теплоты, света, влажности и столь разнообразных модификаций этих факторов», т.е. рассматривал влияние факторов среды и образование биоценозов.

Число таких факторов по мере расширения и углубления исследований по экологии растений возрастало, а оценка значимости отдельных факторов изменялась.

Русский ученый Э.А. Эверсман (1794–1860) рассматривал организмы в тесном единстве с окружающей средой. В работе «Естественная история Оренбургского края» (1840) он четко разделил факторы среды на абиотические и биотические, привел примеры борьбы и конкуренции между организмами, между особями одного и разных видов.

Дальнейшее развитие науки экологии произошло на базе эволюционного учения Ч. Дарвина (1809–1882). Он по праву является одним из основоположников классической экологии. В книге «Происхождение видов» (1859) им показано, что борьба за существование в природе приводит к естественному отбору, т.е. является движущим фактором эволюции. Взаимоотношения живых существ и связи их с неорганическими компонентами среды – большая самостоятельная область исследований.

*Третий этап* системных исследований охватывает конец XIX – первую половину XX в. и связан с именами российских

ученых В.В. Докучаева (1846–1903), В.И. Вернадского (1863–1945), Г.Ф. Морозова (1867–1920), В.Н. Сукачева (1880–1967), украинских ученых Г.М. Высоцкого (1865–1940), П.С. Погребняка (1900–1970). Основное место в развитии системных экологических исследований занимают труды немецких ученых Э. Геккеля, Р. Гессе, В. Кюнелъта, американских исследователей В. Шелфорда, Р. Чепмена, Г. Кларка, английских – Ч. Элтона, А. Тенсли, швейцарского – К. Шретера, испанского – Е. Макфельдена и др.

В ходе развития экологической науки понятие экологии претерпело существенные изменения. Сам термин был введен в 1866 г. немецким зоологом-эволюционистом Э. Геккелем (1834–1919) в книге «Всеобщая морфология организмов». Во втором томе этого обширного труда Геккель дал свое определение экологии как науки: «Под экологией мы понимаем общую науку об отношениях организмов с окружающей средой, куда мы относим в широком смысле все «условия существования». Они частично органической, частично неорганической природы; но как те, так и другие... имеют весьма большое значение для форм организмов, так как они принуждают их приспособляться к себе. К неорганическим условиям существования, к которым приспособляются все организмы, во-первых, относятся физические и химические свойства их местообитаний – климат (свет, тепло, влажность и атмосферное электричество), неорганическая пища, состав воды и почвы и т.д. В качестве органических условий существования мы рассматриваем общие отношения организма ко всем остальным организмам, с которыми он вступает в контакт и из которых большинство содействует его пользе или вредит. Каждый организм имеет среди остальных своих друзей и врагов таких, которые способствуют его существованию, и тех, что ему вредят. Организмы, которые служат пищей остальным или паразитируют в них, во всяком случае относятся к данной категории органических условий существования» (Haeckel E., 1866. Bd. II. S. 2861).

Эта цитата отчетливо показывает, что, формулируя понятие экологии как новой науки, Геккель строил ее не на пустом месте, а на основании большого фактического материала, накопленного в биологии за время ее длительного развития.

Действительно, весь предшествующий период становления биологических знаний шло накопление не только описаний отдельных видов, но и материалов по их образу жизни, а под-

час и отдельных обобщений. Еще в 1798 г. Т. Мальтус (1766–1834) описал уравнение экспоненциального роста популяции, на основе которого строил свои демографические концепции. Уравнение логистического роста предложено П. Ферхюльстом (1804–1849) в 1845 г.

Ж.Б. Ламарк (1744–1829) в «Гидрогеологии» фактически предвосхитил представление о биосфере. Французский врач В. Эдварде (1824) опубликовал книгу «Влияние физических факторов на жизнь», которая положила начало экологической и сравнительной физиологии, а Ю. Либих (1840) сформулировал знаменитый «закон минимума», не потерявший своего значения и в современной экологии.

В России профессор Московского университета К.Ф. Рулье (1814–1858) на протяжении 1841–1858 гг. дал практически полный перечень принципиальных проблем экологии, но не нашел выразительного термина для обозначения этой науки. Он первый четко определил принцип взаимоотношений организма и среды: «Ни одно органическое существо не живет само по себе; каждое вызывается к жизни и живет только постольку, поскольку находится во взаимодействии с относительно внешним для него миром. Это закон общения или двойственности жизненных начал, показывающий, что каждое живое существо получает возможность к жизни частью из себя, а частью из внешности».

Развивая этот принцип, Рулье делит взаимоотношения со средой на две категории: «явления жизни особой» и «явления жизни общей», что соответствует современным представлениям об экологических процессах на уровне организма и на уровне популяций и биоценозов. В опубликованных лекциях и отдельных статьях он поставил проблемы изменчивости, адаптации, миграций, ввел понятие «стация», рассмотрел влияние человека на природу и т.д. При этом механизмы взаимоотношений организмов со средой Рулье обсуждал с позиций, настолько близких к классическим принципам Ч. Дарвина, что его по праву можно считать предшественником Дарвина. К сожалению, Рулье умер в 1858 г., за год до выхода в свет «Происхождения видов». Труды его практически неизвестны за рубежом, но в России они имели огромное значение, послужив основой формирования мощной когорты экологов-эволюционистов, которые были его прямыми учениками (Н.А. Северцов, А.П. Богданов, С.А. Усов).

И все же начало развития экологии как самостоятельной науки следует отсчитывать от трудов Геккеля, давшего четкое определение ее содержания. Надо лишь отметить, что, говоря об «организмах», Геккель, как это было тогда принято, не имел в виду отдельных особей, а рассматривал организмы как представителей конкретных видов.

По существу, основное направление, сформулированное Геккелем, соответствует современному пониманию *аутэкологии* – экологии отдельных видов. В течение долгого времени основное развитие экологии шло в русле аутэкологического подхода (до 30-х гг. XX в.). На развитие этого направления большое влияние оказала теория Дарвина, показавшая необходимость изучения естественной совокупности видов растительного и животного мира, непрерывно перестраивающихся в процессе приспособления к условиям среды, что является основой процесса эволюции.

В аутэкологическом направлении начала – середины XX в. на фоне продолжающихся работ по изучению образа жизни выделяется ряд исследований, посвященных физиологическим механизмам адаптации.

В России это направление в основном сформировалось в 30-е гг. XX в. трудами ученых:

- зоолога Н.И. Калабухова, пришедшего к пониманию необходимости применения физиологических методов для изучения адаптации;
- физиолога А.Д. Слонима, понявшего необходимость исследования адаптивного значения отдельных физиологических процессов. Эколого-физиологическое направление в экологии животных и растений, накопив огромный фактический материал, послужило основой появления большой серии монографий в 60–70-е гг. XX в.

Одновременно с этим в первой половине XX в. начались широкие работы по изучению надорганизменных биологических систем. Их основой послужило формирование концепции биоценозов как многовидовых сообществ живых организмов, функционально связанных друг с другом. Эта концепция в основном создана трудами К. Мёбиуса (1877), С. Форбса (1887) и др. В 1916 г. Ф. Клементс показал динамичность биоценозов и адаптивный смысл этого; А. Тинеманн (1925) предложил понятие «продукция»; Ч. Элтон (1927) опубликовал первый учебник-монографию по экологии, в котором четко выделил своеобразие биоценологических процессов, определил

понятие трофической ниши и сформулировал правило экологических пирамид. В 1926 г. появилась книга В.И. Вернадского «Биосфера», в которой впервые была показана планетарная роль совокупности всех видов живых организмов – «живого вещества». В 1925–1926 гг. А. Лотка и В. Вольтерра создали математические модели роста популяций, конкурентных отношений и взаимодействия хищников и их жертв.

В 1934 г. Г.Ф. Гаузе опубликовал книгу «Борьба за существование», в которой экспериментально и с помощью математических расчетов показал принцип конкурентного исключения и исследовал взаимоотношения типа «хищник – жертва».

Начиная с 1935 г. с введением А. Тенсли понятия «экосистема», стали развиваться особенно широко экологические исследования надорганизменного уровня и практиковаться деление экологии на аутэкологию и синэкологию.

Экосистемные исследования остаются одним из основных направлений в экологии и в наше время. Уже в монографии Ч. Элтона (1927) впервые отчетливо выделено направление популяционной экологии. Практически все исследования экосистемного уровня строились на том, что межвидовые взаимоотношения в биоценозах осуществляются между популяциями конкретных видов. Таким образом, в составе экологии сформировалось популяционное направление, которое называют *демэкологией*.

В середине XX в. стало ясно, что популяция – это не просто сумма особей на какой-то территории, а самостоятельная биологическая (экологическая) система надорганизменного уровня, обладающая определенными функциями и механизмами авторегуляции, которые поддерживают ее самостоятельность и функциональную устойчивость. Это направление, наряду с интенсивным исследованием многовидовых систем, занимает важное место в современной экологии (Д. Кристиан, 1950, 1963; Д. Читти, 1960; Д. Кристиан, Д. Дэвис, 1970; Н.П. Наумов, 1967; И.А. Шилов, 1967, 1977; С.С. Шварц, 1969). Более того, некоторые ученые (Ф. Боденхаймер, 1958; С.С. Шварц, 1960; А. Макфедьен, 1965) полагали, что именно исследования на популяционном уровне представляют центральную проблему экологии.

Однако раскрытие роли многовидовых совокупностей живых организмов в осуществлении биогенного круговорота веществ и поддержании жизни на Земле привело к тому, что



в последнее время ряд ученых экологию чаще определяют как науку о надорганизменных биологических системах или же только о многовидовых сообществах – экосистемах (Дж. Карпентер, 1962; Ю. Одум, 1963; Н.П. Наумов, 1973; Ю. Одум, 1975). Такой подход обедняет содержание экологии, особенно если учесть тесную функциональную связь организменного, популяционного и биоценотического уровней в глобальных экологических процессах (И.А. Шилов, 1981, 1985).

Большинство современных ученых рассматривают экологию как науку о закономерностях формирования, развития и устойчивого функционирования биологических систем разного ранга в их взаимоотношениях с условиями среды. При таком подходе экология включает в себя все три уровня организации биологических систем: организменный, популяционный и экосистемный.

Таким образом, в современной трактовке экология рассматривается как наука, изучающая взаимоотношения организмов и надорганизменных систем (популяции, биоценозы, экосистемы) между собой и окружающей их природной средой, а также структуру и организацию биологических систем различного уровня с учетом тех изменений, которые вносит человечество своей деятельностью.

## 1.2. Предмет, задачи и методы современной экологии

Собственно экология как наука сформировалась в рамках биологии. Предметом ее интересов стали взаимоотношения живых организмов между собой и с окружающей неживой природой, закономерности размещения и организации сообществ растений и животных, динамика их численности, факторы выживания и продуктивности, потоки энергии и круговороты веществ, в которых участвуют организмы.

Термин *экология* (от греч. *oikos* – дом, обитель, место обитания и *logos* – знание, учение) ввел в науку выдающийся немецкий зоолог Э. Геккель (1866). Он дал ряд определений экологии, одно из которых следующее: «это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды».



Выражение «экономика природы» тогда звучало лишь как образное иносказание. Но спустя сто лет появились веские основания для такого обозначения экологии. «Экономика природы» – так назвал свой курс основ общей экологии известный эколог Р. Риклефс (1979).

Обычное краткое определение экологии как *науки о взаимоотношениях организмов и среды их обитания*, а также другие, более пространственные, определения не уточняют, включается ли в число «организмов» человек; причем не просто как биологический вид *Homo sapiens* (человек разумный), а как человеческое сообщество вместе со своей специфической средой обитания, со всем своим хозяйством, – как цивилизация. Если не включается, то экология остается в рамках классических представлений как часть биологии. Для человека выделяется самостоятельная *социальная экология*, а для связанных с деятельностью человека экологических проблем – так называемая *наука об окружающей среде*. В западной литературе понятия *ecology* (экология) и *environmental science* (наука об окружающей среде) различаются по смыслу.

Такое разделение оправдано, если считать, что законы, управляющие жизнью сообществ растений и животных в природе, не распространяются на человека или, по крайней мере, играют подчиненную роль по отношению к законам жизни людей, а живая природа и человеческое общество рассматриваются как две разные системы, внутренние связи в каждой из которых сильнее, существеннее, чем связи между ними.

Согласно этому подходу, взаимоотношения человека и природы строятся по правилам, которые устанавливает сам человек. Овладевая законами природы, подчиняя их своим интересам, опираясь на свой разум, социальную организацию и технологическую мощь, человек считает себя вне тех законов, которые действуют в живой природе. Возникшие проблемы окружающей среды представляются исключительно следствием неправильного ведения хозяйства, его высокой ресурсоемкости и отходности и выглядят принципиально устранимыми путем технологической реорганизации и модернизации производства. Считается, что законы природы не могут и не должны мешать экономическому росту, научно-техническому и социальному прогрессу человечества. Этот подход называют *антропоцентрическим* или *технологическим* (в крайнем проявлении – *технократическим*), т.е. ставящим человека, его технологии, его власть над природой в центр экологических

проблем. Он характерен для многих политиков, экономистов, хозяйственников и представляется естественным для большинства инженеров.

Однако существует и другой, *биоцентрический*, или *эксцентрический*, подход к проблеме взаимоотношений человека и природы. Он основан на представлении, что человек как биологический вид в значительной мере остается под контролем главных экологических законов и в своих взаимоотношениях с природой обязан принимать ее условия. Развитие человеческого общества рассматривается как часть эволюции природы, где действуют законы экологических пределов, необратимости и отбора. Возникновение проблем окружающей человека среды обусловлено нарушением природного равновесия. Эти антропогенные, т.е. порожденные деятельностью человека, нарушения регуляторных функций биосферы не могут быть восстановлены или изменены только технологическим путем.

Прогресс человечества ограничивается *экологическим императивом* – безусловной зависимостью человека от состояния живой природы, требованием подчинения ее законам. Эксцентрический подход ставит эту зависимость в центр экологических проблем. В отличие от антропоцентризма эксцентризм исходит из факта объективного существования единой системы, в которой все живые организмы планеты, включая людей с их ресурсами, хозяйственной деятельностью и техникой, взаимодействуют между собой и с окружающей природной средой.

Выбор между этими двумя подходами или компромисс между ними во многом определяет стратегию дальнейшего развития человеческого общества. Есть и другие точки зрения на проблему взаимоотношений человека и природы – от полного равнодушия к ней до крайнего *алармизма* (от фр. *alarme* – тревога), но они являются лишь полярными вариантами указанных двух точек зрения. Большинство людей пока еще склонны к первой, антропоцентрической, точке зрения, так как она выглядит проще, оптимистичнее и отталкивается от предыдущего практического опыта человечества. Однако в настоящее время уже существуют очень веские аргументы в пользу эксцентризма, пренебрегать которыми нельзя.

После Геккеля в понятие экологии вносились различные смысловые оттенки, которые расширяли или сужали предмет этой области знания. Постепенно экология приобрела статус

науки об организации и функционировании надорганизменных биологических систем.

И.А. Шилов (1997) определяет экологию уже как науку о закономерностях формирования, развития и устойчивого функционирования биологических систем разного ранга в их взаимоотношениях с условиями среды.

В последние десятилетия, когда угроза глобального экологического кризиса заставила рассматривать человеческую деятельность на планете с позиций законов живой природы, произошло быстрое расширение экологии. Вобрав в себя проблемы окружающей среды, экология не только использует достижения других разделов биологии, но и вторгается в смежные с ней дисциплины – в науки о Земле, физику и химию, различные инженерные отрасли, предъявляет новые требования к информатике и вычислительной технике; находит приложение за пределами естественных наук – в экономике, политике, социологии, этике. Этот процесс проникновения идей и проблем экологии в другие области знания получил название *экологизации науки*.

Экологизация науки отражает потребность общества в объединении науки и практики для предотвращения экологической катастрофы. Обращение разных наук к проблемам экологии и окружающей человека среды содержит постановку и решение многих практических задач. Поэтому дальше будет идти речь, прежде всего, об экологизации экономики, производства и техники. Экология превратилась из частного раздела биологии, знакомого узкому кругу специалистов, в обширный и еще окончательно не сформировавшийся комплекс фундаментальных и прикладных дисциплин, который Н.Ф. Реймерс (1992) назвал *мегаэкологией*, т.е. «большой экологией».

Расширение предмета экологии привело к появлению ряда новых ее определений. Все чаще она квалифицируется как система научных знаний о взаимоотношениях общества и природы.

Известный американский эколог Ю. Одум еще в 1963 г. назвал экологию наукой о строении и функциях природы в целом, а в его фундаментальной «Экологии» (1986) термин объясняется как междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи. Это определение соответствует современному широкому пониманию экологии.

Таким образом, *основным содержанием* современной экологии является исследование взаимоотношений организмов друг с другом и со средой на популяционно-биоценотическом уровне и изучение жизни биологических макросистем более высокого ранга: биогеоценозов (экосистем), биосферы, их продуктивности и энергетики.

*Объектами* исследования экологии являются биологические макросистемы (популяция, биоценозы) и их динамика во времени и в пространстве.

*Основные задачи* экологии могут быть сведены к изучению динамики популяций, к учению о биоценозах и экосистемах. Структура биоценозов, на уровне формирования которых происходит освоение среды, способствует наиболее экономичному и полному использованию жизненных ресурсов. С этой точки зрения главная теоретическая и практическая задача экологии заключается в том, чтобы вскрыть законы этих процессов и научиться управлять ими в условиях неизбежной индустриализации и урбанизации нашей планеты.

В ходе изучения дисциплины студентам необходимо *знать*:

- принципы классификации структурно-иерархических образований в природе;
- основные законы и концепции современной экологии;
- принципы организации и функционирования основных иерархических структур современной экологии (популяция, экосистема, биосфера, техносфера, ноосфера);
- основные признаки и причины современного экологического кризиса;
- эволюционные аспекты возникновения современного экологического кризиса;
- прикладные и технологические аспекты экологии, существующие проблемы и методы их решения.

Студенты должны *уметь*:

- применять принципы и законы экологии к решению типовых производственных задач;
- давать оценку состояния и положения границ экосистем;
- прогнозировать изменения состояния экосистем под воздействием антропогенных факторов;
- применять полученные знания в практической оценке состояния природной среды и ее воздействия на организм человека.

В экологии используются *методы исследований и понятия*, применяемые в биологии, математике, физике, химии и т.д. Многие же методы исследований свойственны исключительно экологии. Например, если исследования особей (аут-экология) иногда близки исследованиям в области физиологии или биогеографии, то изучение популяций и биоценозов относится всецело к экологии.

Основные методы экологических исследований: полевые, экспериментальные исследования с использованием экосистемного подхода, изучения сообществ (синэкология), популяционного подхода (демэкология), анализ местообитаний, эволюционного и исторических подходов.

**Экосистемный подход.** При экосистемном подходе в центре внимания исследователя-эколога находятся *поток энергии и круговорот веществ* между биотическим и абиотическим компонентами экосферы. Наибольший интерес представляет установление функциональных связей живых организмов между собой и с окружающей средой. Все связи оцениваются по их воздействию на установленный объект (рис. 1.1).

Экосистемный подход выдвигает на первый план общность организации всех сообществ независимо от местообитания и систематического положения входящих в них организмов. Это подтверждается простым сравнением водной и наземной экосистем. При резком различии в среде обитания и образующих

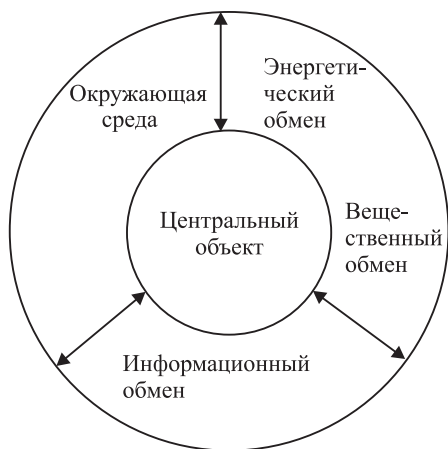


Рис. 1.1. Схема экологического (экосистемного) подхода

систему видах здесь четко просматривается сходство структуры и функциональных единиц этих двух экосистем.

В экосистемном подходе находит приложение концепция саморегуляции (гомеостаза), из которой становится ясно, что нарушение регуляторных механизмов, например в результате загрязнения среды, может привести к биологическому дисбалансу.

**Изучение сообществ.** При изучении сообществ исследуют растения, животных и микроорганизмы, которые обитают в различных биотических единицах, таких как лес, луг, пустошь и др. Основное внимание уделяется определению и описанию видов, изучению факторов, ограничивающих их распространение. Одним из аспектов подобных исследований является получение научных данных о сукцессиях и климаксовых сообществах, что весьма важно для решения вопросов рационального использования природных ресурсов.

**Популяционный подход.** В современных популяционных исследованиях используются математические модели роста, самоподдержания и уменьшения численности тех или иных видов. Построение моделей связано с такими понятиями, как рождаемость, выживаемость и смертность. Популяционный подход обеспечивает теоретическую базу для понимания всплеск численности вредителей и паразитов, имеющих значение для медицины и сельского хозяйства, дает возможность борьбы с ними применением биологических методов, например использование хищников и паразитов вредителя, позволяет оценить критическую численность вида, необходимую для его выживания. Это особенно важно при организации заповедников, ведении сельского и охотничьего хозяйства, а в теоретическом плане – при изучении вопросов эволюционной и исторической экологии.

**Изучение местообитаний.** В связи с удобством проведения исследований особо выделяют анализ местообитания. Он широко распространен в полевых исследованиях, так как местообитания легко поддаются классификации. Здесь изучают биотические компоненты экосистемы, основные факторы окружающей среды (эдафические, орографические и климатические), такие как почва, вода, влажность, температура, свет и ветер. Анализ местообитаний имеет тесные связи с экосистемным подходом и изучением сообществ.

**Эволюционный подход.** Основным материалом о характере вероятных будущих трансформаций получают, изучая, как экосистемы, сообщества и популяции исторически менялись во времени. Эволюционная экология рассматривает трансформации, связанные с развитием жизни на Земле, позволяет понять основные закономерности, которые действовали в экосфере до того момента, когда важным экологическим фактором, влияющим на большинство организмов и на физическую среду, стала деятельность человека. Эволюционный подход в исследованиях позволяет реконструировать экосистемы прошлого, используя палеонтологические данные (анализ пыльцы, ископаемые остатки и т.д.) и сведения о современных экосистемах.

**Исторический подход.** Историческая экология изучает изменения, связанные с развитием человеческой цивилизации и технологии, их возрастающее влияние на природу, охватывая период от неолита до наших дней. Используя исторический подход, можно выявлять долговременные экологические тенденции, которые невозможно установить только путем изучения современных экосистем. Таковы, например, изменение климата, конвергентная эволюция, расселение видов растений и животных. Исторический подход дает больше новых теоретических идей в сравнении с анализом местообитаний.

В последние десятилетия XX в. успехи техники дали возможность на количественном уровне изучать большие, сложные (экологические) системы. Необходимыми инструментами для этого послужили метод меченых атомов, новые физико-химические методы (спектрометрия, колориметрия, хроматография и др.), дистанционные методы зондирования, автоматический мониторинг, математическое моделирование и т.д. Это позволило ученым разных стран, работающим с 1964 г. по общей Международной биологической программе (МБП), подсчитать максимальную биологическую продуктивность всей нашей планеты или тот природный фонд, которым располагает человечество, и максимально возможные нормы изъятия продукции для нужд растущего населения Земли. Конечной целью МБП было выявление качественного и количественного распределения и воспроизводства органического вещества в интересах использования их человеком. Итоги работы ученых по МБП поставили перед современным обществом актуальнейшую задачу предотвращения возможных нарушений биологического равновесия в масштабах всей планеты.

### 1.3. Структура экологии и ее связь с другими научными дисциплинами

Экология как наука сложна и многогранна. Основными разделами современной экологии являются: общая (теоретическая) экология, включающая биоэкологию, геоэкологию, экологию человека, социальную экологию, и прикладная экология.

Каждый раздел имеет свои подразделы и связи с другими частями экологии и смежными науками.

**Общая экология** объединяет разнообразные экологические знания на едином научном фундаменте. Ее ядром является *теоретическая экология*, которая устанавливает общие закономерности функционирования экологических систем. Многие природные экологические процессы происходят очень медленно и обусловлены множеством факторов. Для изучения их механизмов недостаточно одних натуральных наблюдений, нужен эксперимент.

*Экспериментальная экология* обеспечивает методическим инструментарием различные разделы науки. Однако вследствие ограниченности возможностей эксперимента в экологии широко применяется моделирование, в частности математическое. Вместе с обработкой информации и количественным анализом фактического материала оно входит в раздел теоретической экологии, который называют *математической экологией*.

*Биоэкология* – «классическая» экология, сформировавшаяся в рамках биологии, представляет собой достаточно цельную область естествознания. Она посвящена взаимодействиям со средой надорганизменных биологических систем всех уровней. Именно в биоэкологии на основе изучения роли потоков веществ, энергии и информации в жизнедеятельности организмов формируется представление об экологии как об экономике природы.

В ней выделяются:

- экология отдельных особей как представителей определенного вида организмов – *аутоэкология*;
- экология генетически однородных групп организмов одного вида, имеющих общее место обитания, – *популяционная экология (демэкология)*;



- экология многовидовых сообществ, биоценозов – *син-экология*;

- учение об экологических системах – *биогеоценология*.

Другой принцип деления относится к таксономическим группам организмов – царствам бактерий, грибов, растений, животных и к более мелким систематическим категориям: типам, классам, отрядам. Например, экология водорослей, экология насекомых, экология птиц, экология китов и т.п.

Еще один раздел составляет *эволюционная экология* – учение о роли экологических факторов в эволюции.

Подразделение также производится:

- по типу среды обитания – наземной (суши), почвенной, пресноводной, морской;

- принадлежности сообществ организмов к разным природно-климатическим зонам (экология тундры, тайги, степей, пустынь, гор, тропических лесов);

- типам ландшафтов (экология речных долин, морских берегов, болот, островов, коралловых рифов и т.п.). Эту совокупность приложений иногда называют *географической экологией* или *геоэкологией*.

На стыке биоэкологии и геохимии Земли, а также на основе изучения роли живых организмов в планетарной трансформации солнечной энергии и круговорота химических элементов возникло *учение о биосфере* – глобальной экологической системе. Современная глобалистика существенно расширила горизонты экологии и усилила ее проблемную направленность.

В сумму экологических знаний, несколько отдельно от традиционной биоэкологии, входит *экология человека* – комплекс дисциплин, исследующих взаимодействие человека как индивида (биологической особи) и личности (социального субъекта) с окружающей его природной и преобразованной им самой средой. Важной особенностью экологии человека является социобиологический подход – правильное уравнивание биологических и социальных аспектов.

*Социальная экология* как часть экологии человека – это объединение научных отраслей, изучающих связь общественных структур (начиная с семьи и других малых общественных групп) с природной и социальной средой их окружения. К такому объединению относятся экология народонаселения – *экологическая демография* и *экология человеческих популяций*. При этом рассматривается как влияние среды на общество, так и воздействие общества на среду.

**Прикладная экология** – большой комплекс дисциплин, связанных с различными областями человеческой деятельности и взаимоотношений между человеческим обществом и природой. Она формирует экологические критерии экономики, исследует механизмы антропогенных воздействий на природу и окружающую человека среду, следит за ее качеством, обосновывает нормативы рационального использования природных ресурсов, осуществляет экологическую регламентацию хозяйственной деятельности, контролирует экологическое соответствие различных планов и проектов, разрабатывает технические средства охраны окружающей среды и восстановления нарушенных человеком природных систем. Выделяются следующие разделы прикладной экологии: инженерная, сельскохозяйственная, биоресурсная и промысловая, коммунальная, медицинская и др.

**Инженерная экология** – сравнительно новое направление экологической науки, изучающее взаимодействия техники и природы, закономерности формирования региональных и локальных природно-технических систем и способы управления ими в целях защиты природной среды и обеспечения экологической безопасности. Инженерная экология призвана обеспечить соответствие техники и технологии промышленных объектов экологическим требованиям. В ее сферу входит комплекс взаимосвязанных задач:

- регламентация экологически безопасного производственного освоения территорий, размещения и строительства хозяйственных объектов;
- оптимизация отраслевой структуры производства;
- определение допустимой техногенной нагрузки на территории, контроль и регламентация материально-энергетических потоков производства и техногенных эмиссий (т.е. испускания, выброса побочных продуктов) от различных инженерных объектов;
- экологизация производства, создание ресурсосберегающих и малоотходных технологий, экологически чистых материалов и продуктов производства;
- экологическая безопасность территориальных промышленных комплексов, производственных процессов, сооружений, машин и изделий;
- инженерно-экологическое обеспечение производства, разработка методов инженерно-экологической профилактики, восстановления и реконструкции ландшафтов.

Центральное место в сфере инженерной экологии занимает промышленная экология – область прикладной экологии, которая изучает воздействия промышленности на природу, окружающую человека среду, разрабатывает средства регламентации этих воздействий и защиты от них окружающей среды. С промышленной экологией тесно связаны экологические аспекты энергетики, транспорта, строительства и других отраслей экономики. Инженерной экологии приходится также иметь дело с влиянием экологических факторов и различных живых организмов на инженерные объекты.

*Сельскохозяйственная экология* в своей значительной части сливается с биологическими основами земледелия и животноводства (экология сельскохозяйственных животных). Экосистемный подход обогащает агробиологию принципами и средствами рациональной эксплуатации земельных ресурсов, повышения продуктивности и получения экологически чистой продукции.

*Биоресурсная и промысловая экология* изучает условия, при которых эксплуатация биологических ресурсов природных экосистем (лесов, континентальных водоемов, морей, океанов) не приводит к их истощению и нарушению, утрате видов, уменьшению биологического разнообразия. В задачи этой дисциплины входят также разработка методов восстановления и обогащения биоресурсов, научное обоснование интродукции и акклиматизации растений и животных, создания заповедников.

*Экология поселений, урбоэкология, коммунальная экология* – разделы прикладной экологии, посвященные особенностям и влияниям различных факторов искусственно преобразованной среды обитания людей в населенных пунктах, городах, жилищах.

*Медицинская экология* – область изучения экологических условий возникновения, распространения и развития болезней человека, в том числе острых и хронических заболеваний, обусловленных природными факторами и неблагоприятными техногенными воздействиями среды. Медицинская экология включает в качестве раздела рекреационную экологию, т.е. экологию отдыха и оздоровления людей, смыкающуюся с курортологией.

Таким образом, экологизации подверглись многие науки и сферы практической деятельности. В их пограничных зонах возникают новые дисциплины. Геоэкология тесно взаимодей-

ствует с *биогеографией* – наукой о географическом распределении живых организмов; многие разделы этих дисциплин накладываются друг на друга. Это же можно сказать и об экологии человека, с одной стороны, и социологии, антропологии, – с другой.

Еще теснее переплетаются с родственными дисциплинами ветви прикладной экологии. Ее экономические аспекты изучаются быстро развивающейся экономикой природопользования. Уже упомянута связь сельскохозяйственной экологии с агробиологией. Экология города имеет много общего с коммунальной гигиеной. Медицинская экология в большой мере опирается на токсикологию, патологию, биохимию, эпидемиологию. Большинство требований промышленной экологии совпадает с нормами безопасности и культуры производства, гигиены труда и производственной санитарии, эргономики и безопасности жизнедеятельности. Происходит интеграция знаний со взаимным обогащением наук в пограничных областях.

Размах экологизации указывает на то, что экология претендует на лидирующее положение в современной науке и способствует синтезу фундаментальных знаний о природе и обществе. По выражению Н.Ф. Реймерса (1994) экология «выросла из коротких штанишек, надетых на нее Э. Геккелем, но еще не удостоилась нового костюма» – научного признания, соответствующего ее общественной значимости. Формирование фундаментальных теоретических основ экологии находится еще в самом начале.

Приведенный выше перечень показывает, что по системной совокупности объектов экология – это одна из самых сложных синтетических наук, требующая универсальной подготовки и глубоких профессиональных знаний.

### 1.3.1. Аутэкология

*Аутэкология* (Schroter, 1896) изучает взаимоотношения представителей вида с окружающей его средой. Она, главным образом, определяет *пределы устойчивости и предпочтения вида* по отношению к различным экологическим факторам и исследует действие среды на морфологию, физиологию и поведение организма.

Впервые аутоэкология выделена в самостоятельный раздел экологии на III Международном ботаническом конгрессе в г. Брюсселе в 1910 г.

Основными объектами аутоэкологии являются вид, особь, организм, среда их обитания, а также факторы среды и их влияние на живые организмы.

### **1.3.1.1. Вид, особь, организм**

Многообразие жизни на Земле представлено организмами различного уровня сложности.

*Организм* – живое тело, обладающее совокупностью свойств, отличающих его от неживой материи. Организмы представлены отдельно существующими особями. Организм как отдельная особь входит в состав вида и популяции, являясь структурной единицей популяционно-видового уровня жизни.

*Особь* – элементарная единица жизни, экземпляр живого, имеющий все признаки, свойственные виду, к которому он принадлежит, и, вместе с тем, отличающийся специфическими генетическими и фенотипическими особенностями.

Организмы являются одним из главных предметов изучения в биологии. Для удобства рассмотрения все организмы распределяются по разным группам и категориям, что составляет биологическую систему их классификации. Самое общее деление организмов основывается на наличии или отсутствии клеточного ядра. По числу составляющих организм клеток их делят на внесистематические категории одноклеточных и многоклеточных. Особое место между ними занимают колонии одноклеточных.

Формирование целостного многоклеточного организма – процесс, состоящий из дифференцировки структур (клеток, тканей, органов) и функций и их интеграции как в онтогенезе, так и в филогенезе. Многие организмы объединены во внутривидовые сообщества (например, семья или рабочий коллектив у людей).

*Биологический вид* является основной структурной единицей в системе живых организмов.

Вплоть до XVII в. исследователи опирались на представление о виде, созданное еще Аристотелем, который воспринимал виды как совокупности сходных особей. Термин «вид»

(от лат. *species* – взгляд, образ) указывает на способ выделения этих совокупностей – по их морфологическому сходству. Такой подход к трактовке и изучению видов без особых принципиальных изменений использовался многими выдающимися биологами, включая К. Линнея.

Выделение видов в то время происходило на основе различий между особями по ограниченному числу внешних признаков. Этот метод получил название *типологического подхода*. Отнесение особи к тому или иному виду осуществлялось на основе сличения ее признаков с описаниями уже известных видов. Если признаки данной особи не удавалось соотнести ни с одним из существующих видовых диагнозов, то по данному экземпляру (он получал название типового) описывался новый вид. Иногда это приводило к тому, что самцы и самки одного вида описывались как разные виды.

К концу XIX в., когда разнообразие птиц и млекопитающих было достаточно полно изучено на значительной территории Земли, стали очевидны недостатки типологического подхода. Выяснилось, что животные из разных мест порой хоть и незначительно, но достаточно надежно отличаются друг от друга. В соответствии с установленными правилами им надо было присваивать статус самостоятельных видов. Число новых видов росло лавинообразно.

Дальнейшие исследования в области таксономии привели к формированию *биологической концепции вида*.

В XX в. с развитием генетики и синтетической теории вид стали рассматривать как группу популяций с общим уникальным генофондом, обладающую собственной системой защиты целостности своего генофонда. Таким образом, типологический подход к выделению видов сменился *эволюционным*: виды определяются не различием, а обособленностью. Популяциям вида, морфологически отличным друг от друга, но способным свободно скрещиваться друг с другом, придается статус *подвидов*. Эта система взглядов легла в основу биологической концепции вида, получившей мировое признание благодаря заслуге Э. Майра. Смена концепций вида соединила представления о морфологической обособленности и эволюционной изменяемости видов и позволила с большей объективностью подойти к задаче описания биологического разнообразия.

Согласно современному определению *вид* – это совокупность географически и экологически близких популяций, особи которых обладают общими морфофизиологическими при-

знаками, способны в природных условиях скрещиваться между собой, но биологически изолированы от популяций других видов.

Современная биология разработала ряд критериев, которые позволяют отличать один вид от другого.

**К р и т е р и и** в и д а – это разнообразные таксономические (диагностические) признаки, которые характерны для одного вида, но отсутствуют у других видов.

Комплекс признаков, по которому можно надежно отличить один вид от других видов, называется *видовым радикалом* (Н.И. Вавилов).

Критерии вида делят на основные (которые используются практически для всех видов) и дополнительные (которые трудно использовать для всех видов).

**Основные критерии вида.** 1. *Морфологический критерий* основан на существовании морфологических признаков, характерных для одного вида, но отсутствующих у других видов. Например, у гадюки обыкновенной ноздря находится в центре носового щитка, а у всех других гадюк (носатая, малоазиатская, степная, кавказская, гюрза) ноздря смещена к краю носового щитка.

Таким образом, близкие виды могут отличаться по малозаметным признакам. Существуют *виды-двойники*, настолько схожие, что использовать морфологический критерий для их разграничения очень трудно. Например, комар малярийный на самом деле представлен девятью очень сходными видами, которые различаются морфологически лишь по строению репродуктивных структур; окраске яиц (у одних видов гладко-серая, у других – с пятнами или полосами), числу и ветвистости волосков на конечностях у личинок, размерам и форме чешуек крыла.

У животных виды-двойники встречаются среди грызунов, птиц, многих низших позвоночных (рыб, амфибий, рептилий), многих членистоногих (ракообразных, клещей, бабочек, двукрылых, прямокрылых, перепончатокрылых), моллюсков, червей, кишечнополостных, губок и др.

Не существует четкого различия между обыкновенными видами (морфовидами) и видами-двойниками: просто у видов-двойников морфологические различия выражены в минимальной степени. Очевидно, образование видов-двойников подчиняется тем же закономерностям, что и видообразование в целом, а эволюционные изменения в группах видов-двойников происходят с той же скоростью, что и у морфовидов.



Виды-двойники, будучи подвергнуты тщательному исследованию, обычно обнаруживают различия в целом ряду мелких морфологических признаков (например, самцы насекомых, принадлежащие к разным видам, четко различаются по строению копулятивных органов).

Перестройка генотипа (генофонда), приводящая к взаимной репродуктивной изоляции, не обязательно сопровождается видимыми изменениями морфологии.

У животных виды-двойники чаще встречаются, если морфологические различия меньше влияют на образование брачных пар (например, если при узнавании используется обоняние или слух). Если же животные больше полагаются на зрение (большинство птиц), то виды-двойники встречаются реже. Устойчивость морфологического сходства видов-двойников обусловлена существованием определенных механизмов *морфогенетического гомеостаза*.

В то же время в пределах видов существуют значительные индивидуальные морфологические различия. Например, гадюка обыкновенная представлена множеством цветовых форм (черные, серые, голубоватые, зеленоватые, красноватые и другие оттенки). Однако эти признаки не могут использоваться для разграничения видов, так как они обусловлены особенностями среды обитания.

2. *Географический критерий* основан на том, что каждый вид занимает определенную территорию (или акваторию) – *географический ареал*. Например, в Европе одни виды малярийного комара (род *Anopheles*) населяют Средиземноморье, другие – горы Европы, Северную Европу, Южную Европу.

Однако географический критерий не всегда применим. Ареалы разных видов могут перекрываться, и тогда один вид плавно переходит в другой. В этом случае образуется цепь विकарирующих видов, границы между которыми часто можно установить только путем специальных исследований (чайка серебристая, клуша западная и калифорнийская).

3. *Экологический критерий* основан на том, что два вида не могут занимать одну экологическую нишу, а каждый вид характеризуется своими собственными отношениями со средой обитания. У видов, характеризующихся специфическими биотическими связями (паразитических видов, переносчиков заболеваний, комменсалов, симбионтов), широко используется их приуроченность к определенному хозяину. Например, ви-



ды-двойники, ранее известные под общим названием комар малярийный, характеризуются разной пищевой базой: одни виды нападают на млекопитающих, другие – на птиц, третьи – на пресмыкающихся; одни виды переносят малярию, причем для человека опасен только один вид, а другие – не переносят.

Для животных вместо понятия *экологическая ниша* часто используется понятие *адаптивная зона*, а для растений – *эдафо-фитоценотический ареал*.

*Адаптивная зона* – это определенный тип местообитаний с характерной совокупностью специфических экологических условий, включающих тип среды обитания (водная, наземно-воздушная, почва, организм) и его частные особенности (например, в наземно-воздушной среде обитания – суммарное количество солнечной радиации, количество осадков, рельеф, циркуляция атмосферы, распределение этих факторов по сезонам и т.д.). В биогеографическом аспекте адаптивным зонам соответствуют крупнейшие подразделения биосферы – *биомы*, которые представляют собой совокупность живых организмов в сочетании с определенными условиями их обитания в обширных ландшафтно-географических зонах. Однако различные группы организмов по-разному используют ресурсы среды обитания, по-разному адаптируются к ним. Поэтому в пределах биома хвойно-широколиственной зоны лесов умеренного пояса можно выделить адаптивные зоны крупных стерегущих хищников (рысь), крупных догоняющих хищников (волк), мелких древеснолазающих хищников (куница), мелких наземных хищников (ласка) и т.д. Таким образом, адаптивная зона – это экологическое понятие, занимающее промежуточное положение между средой обитания и экологической нишей.

*Эдафо-фитоценотический ареал* – это набор биокосных (почвенных) факторов (механический состав почв, рельеф, характер увлажнения, воздействие растительности и деятельности микроорганизмов) и биотических (совокупности видов растений, которые составляют непосредственное окружение интересующего нас вида).

Однако в пределах одного вида разные особи могут занимать разные экологические ниши. Группы таких особей называются *экотипами*. Например, один экотип сосны обыкновен-

ной населяет болота (сосна болотная), другой – песчаные дюны, третий – выровненные участки боровых террас, но все они относятся к одному виду.

Совокупность экотипов, образующих единую генетическую систему, т.е. способных скрещиваться между собой с образованием полноценного потомства, называется *эковидом*.

**Дополнительные критерии вида:** 1. *Физиолого-биохимический критерий* основан на том, что разные виды могут различаться по аминокислотному составу белков. В то же время в пределах вида существует изменчивость по структуре многих ферментов (белковый полиморфизм), а разные виды могут иметь сходные белки.

2. *Цитогенетический (кариотипический) критерий* основан на том, что каждый вид характеризуется определенным кариотипом – числом и формой метафазных хромосом. Однако у разных видов могут быть очень сходные кариотипы. В то же время в пределах одного вида может наблюдаться хромосомный полиморфизм. У некоторых видов существуют хромосомные расы, например у черной крысы – 42-хромосомная (Азия, Маврикий), 40-хромосомная (Цейлон) и 38-хромосомная (Океания).

3. *Физиолого-репродуктивный критерий* основан на том, что особи одного вида могут скрещиваться между собой с образованием плодovитого потомства, похожего на родителей, а особи разных видов, обитающих совместно, либо не скрещиваются между собой, либо их потомство оказывается бесплодным.

Однако известно, что в природе часто распространена межвидовая гибридизация: у многих растений (например, ивы), ряда видов рыб, земноводных, птиц и млекопитающих (например, волк и собака).

В то же время в пределах одного вида могут существовать группировки, репродуктивно изолированные друг от друга. Тихоокеанские лососи (горбуша, кета и др.) живут два года и нерестятся только перед смертью. Следовательно, потомки особей, отметавших икру в 1990 г., будут размножаться только в 1992, 1994, 1996 г. («четная» раса), а потомки особей, отметавших икру в 1991 г., будут размножаться только в 1993, 1995, 1997 г. («нечетная» раса). «Четная» раса не может скрещиваться с «нечетной».

4. *Этологический критерий* связан с межвидовыми различиями в поведении у животных. У птиц для распознавания видов широко используется анализ песен; насекомые часто различаются по характеру издаваемых звуков; виды североамериканских светляков различаются по частоте и цвету световых вспышек и т.д.

5. *Исторический критерий* основан на изучении истории вида или группы видов, носит комплексный характер, поскольку включает сравнительный анализ исторических изменений условий среды и образования современного ареала вида, эволюции вида.

Следует отметить, что, несмотря на выделение основных и дополнительных критериев вида, ни один из рассмотренных критериев вида не является главным или наиболее важным.

Для четкого разделения видов необходимо их тщательное изучение по всем критериям, что особенно важно для нужд прикладной экологии.

### **1.3.1.2. Среда обитания видов, особей и организмов**

Все разнообразие природных условий, которое встречается на Земле, называют *средой жизни*. На нашей планете живые организмы освоили четыре основные среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную.

Считается, что первой средой жизни на Земле стала вода. Затем живые организмы освоили наземно-воздушную среду, создали и заселили почву. Организменную среду освоили паразиты и симбионты.

Живые организмы могут существовать в одной или нескольких средах жизни.

Своеобразие условий каждой среды жизни обусловило своеобразие живых организмов, свойственное разным средам. У всех организмов в процессе эволюции выработались специфические морфологические, физиологические, поведенческие и другие приспособления к обитанию в своей среде. В свою очередь, все среды жизни, обеспечивая необходимыми условиями живущие в них организмы, постоянно претерпевают существенные изменения от жизнедеятельности этих организмов (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Сравнительная характеристика сред жизни и адаптации к ним живых организмов

Среда	Характеристика	Адаптации организмов к среде
Водная	Высокая плотность, теплопроводность, прозрачность, сильные перепады давления, слабая аэрация, освещенность убывает с глубиной, относительно однородная (гомогенная) в пространстве и стабильная во времени	Обтекаемая, продолговатая форма тела, плавучесть, наличие слизистых покровов, развитие воздухоносных полостей, осморегуляция
Наземно-воздушная	Обилие света и кислорода, низкая плотность воздуха, резкие колебания температуры, высокая подвижность атмосферы, дефицит влаги, гетерогенная. Наиболее сложная как по свойствам, так и по разнообразию в пространстве	Выработка опорного скелета, механизмов терморегуляции, экономного расходования воды, высокая эффективность окислительно-восстановительных процессов, развиты органы усвоения атмосферного кислорода
Почвенная	Дефицит или полное отсутствие света, высокая плотность, недостаток или избыток влаги, недостаток кислорода, сравнительно высокое содержание углекислого газа, рыхлая структура субстрата, заполненная смесью газов и водой. Создана живыми организмами	Вальковатая форма тела, малые размеры, прочные покровы тела, кожное дыхание, редукция органов зрения, у некоторых имеется копательный аппарат, развита мускулатура
Организованная	Наличие легкоусвояемой пищи, постоянство температурного, осмотического, солевого режимов, отсутствие угрозы высыхания, защищенность от врагов, нехватка кислорода, ограниченность жизненного пространства	Упрощение всех систем органов, редукция некоторых из них, появление органов прикрепления, высокая плодовитость, сложные циклы развития со сменой одного или нескольких хозяев

Влияние среды на организмы обычно оценивают через отдельные факторы, которые называются *экологическими факторами среды* (подробно будут рассмотрены в гл. 2).

**Водная среда.** Гидросфера как водная среда жизни занимает около 71% площади и приблизительно 1/800 часть объема земного шара. Основное количество воды (более 94%) сосредоточено в морях и океанах.

В океане с входящими в него морями прежде всего различают две экологические области: толщу воды – *пелагиаль* и дно – *бенталь*. В зависимости от глубины бенталь делится на сублиторальную зону – область плавного понижения суши до глубины 200 м; батияльную – область крутого склона и абиссальную зону – океанического ложа со средней глубиной 3–6 км. Более глубокие области бентали, соответствующие впадинам океанического ложа (6–10 км), называют *ультраабиссалью*. Кромка берега, заливаемая во время приливов, называется *литоралью*. Часть берега выше уровня приливов, увлажняемая брызгами прибоя, получила название *супралиторали*.

Открытые воды Мирового океана также делятся на зоны по вертикали соответственно зонам бентали: *типепелагиаль*, *батипелагиаль*, *абиссопелагиаль* (рис. 1.2).

Характерной чертой водной среды является ее подвижность, особенно в проточных, быстро текущих ручьях и реках.

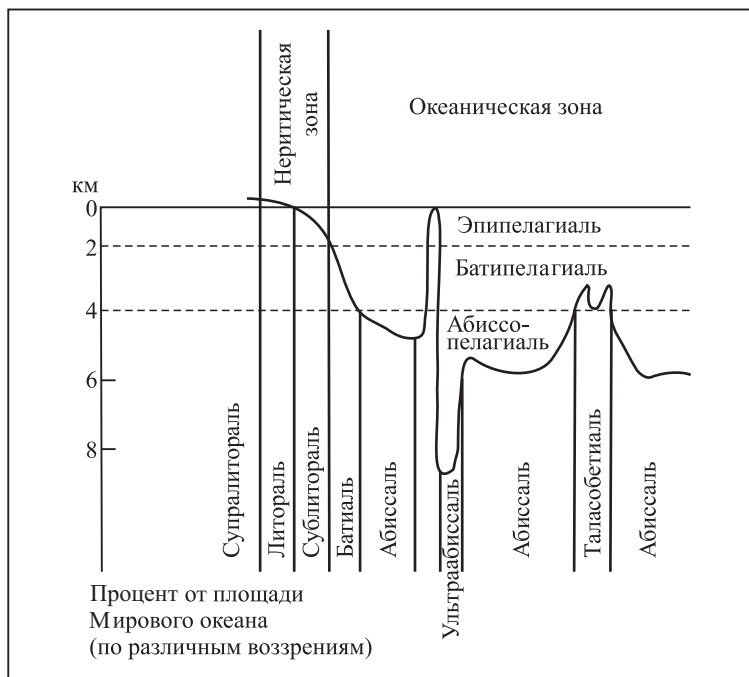


Рис. 1.2. Вертикальная экологическая зональность океана  
(по Н.Ф. Реймерсу, 1990)

В морях и океанах наблюдаются приливы и отливы, мощные течения, штормы. В озерах вода перемещается под действием температуры и ветра.

В водной среде обитает примерно 150 000 видов животных (около 7% от общего их количества) и 10 000 видов растений (8%), хотя по последним данным считается, что в водной среде могут обитать порядка 2,2 млн видов живых организмов.

Толща воды, или *пелагиаль* (от греч. *pelagos* – море), заселена пелагическими организмами, которые обладают способностью плавать или удерживаться в определенных слоях. Эти организмы подразделяются на две группы: *нектон* и *планктон*. Третью экологическую группу – *бентос* – образуют обитатели дна. Организмы, располагающиеся на поверхности воды, составляют особую группу – *нейстон*. Организмы, часть тела которых находится над поверхностью воды, а другая – в воде, получили название *плейстон*.

В пресноводных водоемах различают планктон, нектон и бентос.

Водные растения в зависимости от образа жизни подразделяют на две основные экологические группы: *гидрофиты* – растения, погруженные в воду только нижней частью и обычно укореняющиеся в грунте, и *гидатофиты* – растения, которые полностью погружены в воду, иногда плавающие на поверхности или имеющие плавающие листья.

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

Вода является более стабильной средой, в которой ее физические параметры претерпевают сравнительно незначительные колебания, поэтому водные организмы обладают по сравнению с наземными меньшей *экологической пластичностью*. Пресноводные растения и животные более пластичны, чем морские, так как пресная вода как среда жизни более изменчива.

Экологическая пластичность является важным регулятором расселения организмов. Доказано, что гидробионты с высокой экологической пластичностью распространены более широко (например, элодея). А рачок артемия (*Artemia solina*), живущий в небольших водоемах с очень соленой водой, является типичным представителем водной фауны с узкой экологической пластичностью.

Экологическая пластичность также зависит от возраста и фазы развития организма. Например, морской брюхоногий моллюск *Littorina* во взрослом состоянии при отливах ежедневно длительное время обходится без воды, однако его личинки ведут исключительно планктонный образ жизни и не переносят высыхания.

У организмов водной среды выработались специфические анатомические, морфофизиологические и поведенческие адаптации к обитанию в ней.

**Наземно-воздушная среда.** В ходе эволюции наземно-воздушная среда была освоена позднее, чем водная, хотя в настоящее время в ней обитает значительная часть живых организмов, в том числе и человек. До настоящего времени не известно точное количество видов, обитающих в этой среде.

Особенностью наземно-воздушной среды жизни является то, что организмы в ней окружены газообразной средой, характеризующейся низкими влажностью, плотностью и давлением, высоким содержанием кислорода.

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

В процессе эволюции у живых организмов наземно-воздушной среды выработались характерные анатомо-морфологические, физиологические, поведенческие и другие адаптации. Например, появились органы, которые обеспечивают непосредственное усвоение атмосферного кислорода в процессе дыхания (легкие и трахеи животных, устьица растений). Получили сильное развитие скелетные образования (скелет животных, механические и опорные ткани растений), которые поддерживают тело в условиях незначительной плотности среды. Выработались приспособления для защиты от неблагоприятных факторов, такие как периодичность и ритмика жизненных циклов, сложное строение покровов, механизмы терморегуляции и др. Сформировалась тесная связь с почвой (конечности животных, корни растений), выработалась подвижность животных в поисках пищи, появились летающие животные, переносимые воздушными течениями семена, плоды и пыльца растений.

**Почвенная среда.** Почва (*эдафера, педосфера*) – это верхняя оболочка суши, которая сформировалась в исторически обозримое время с появлением сухопутной жизни на планете. Впервые на вопрос о происхождении почвы ответил М.В. Ломоносов («О слоях земли»): «...почва произошла от согнития животных и растительных тел ... долгою времени...». Великий русский ученый В.В. Докучаев (1899) впервые назвал почву самостоятельным природным телом и доказал, что почва есть «...такое же самостоятельное естественноисторическое тело, как любое растение, любое животное, любой минерал ... оно есть результат, функция совокупной, взаимной деятельности климата данной местности, ее растительных и животных организмов, рельефа и возраста страны..., наконец, подпочвы, т.е. грунтовых материнских горных пород. ... Все эти агенты-почвообразователи, в сущности, совершенно равнозначные величины и принимают равноправное участие в образовании нормальной почвы...».

В современной трактовке принято следующее определение почвы – это все поверхностные слои горных пород, переработанные и измененные совместным воздействием климата (свет, тепло, воздух, вода), растительных и животных организмов.

Основными структурными элементами почвы являются: минеральная основа, органическое вещество, воздух и вода.

Минеральная основа (скелет), составляющая 50–60% всей почвы, – это неорганическое вещество, образовавшееся в результате разрушения подстилающей горной (материнской, почвообразующей) породы за счет ее выветривания. Размеры скелетных частиц могут варьироваться от валунов и камней до мельчайших песчинок и илистых частиц.

Скелетный материал обычно произвольно разделяют на мелкий грунт (частицы менее 2 мм) и более крупные фрагменты. Частицы меньше 1 мкм в диаметре называют *коллоидными*.

Механические и химические свойства почвы в основном определяются теми веществами, которые относятся к мелкому грунту.

Физико-химические свойства почв обусловлены составом почвообразующих пород. От соотношения в почве глины и песка, размеров фрагментов зависят проницаемость и пористость почвы, обеспечивающие циркуляцию как воды, так и воздуха. В умеренном климате идеально, если почва образована равными количествами глины и песка, т.е. представ-



ляет суглинок. В этом случае почвам не грозит ни переувлажнение, ни пересыхание. И то и другое одинаково губительно как для растений, так для и животных.

Органическое вещество составляет до 10% почвы и образуется из отмершей биомассы (опад листьев, ветвей и корней, валежные стволы, отмершие травы, организмы погибших животных), переработанной в почвенный гумус микроорганизмами, некоторыми группами животных и растений.

Каждому типу почв соответствует определенный животный мир и определенная растительность. Совокупность живущих в почве организмов называют *эдафоном*.

Для растений имеет значение наличие достаточного количества питательных веществ в почве, влажность, кислотность (соленость), структура почвы. Эти факторы определяют видовое разнообразие и плотность распределения растительного сообщества на поверхности и верхних горизонтах почвы.

Для животных важны такие характеристики, как структура, влажность, температура почвы.

**Организменная среда.** Организменная среда обитания – среда, образуемая самими живыми организмами, в которых обитают другие организмы; обладает следующими особенностями:

- отсутствие света и атмосферного воздуха;
- практически постоянная температура;
- высокая влажность;
- обилие питательных веществ;
- агрессивная реакция организма – хозяина.

Специфические особенности организменной среды обитания определили типы взаимоотношений организмов и обусловили особенности анатомических, морфофизиологических, поведенческих адаптаций.

Более подробно эти особенности будут рассмотрены далее в гл. 2.

### 1.3.2. Демэкология, или популяционная экология

*Демэкология* (от греч. *dēmos* – народ + экология), *экология популяций* – раздел общей экологии, изучающий динамику численности популяций, внутривидовые группировки и их взаимоотношения, а также условия, при которых формируются популяции. Демэкология описывает колебания численности различных видов под воздействием экологических фак-

торов и устанавливает их причины, рассматривает особь не изолированно, а в составе группы таких же особей, занимающих определенную территорию и относящихся к одному виду.

### 1.3.2.1. Популяция

Термин «популяция» был введен в экологию в 1903 г. датским ученым В. Иогансенем для обозначения «естественной смеси особей одного и того же вида, неоднородной в генетическом отношении». Он впервые применил комплекс генетических и статистических методов для изучения структуры популяции самооплодотворяющихся (самоопыляющихся) организмов. Объектом исследования стали популяции самоопылителей, которые можно было легко разложить на группы потомков отдельных самоопыляющихся растений, т.е. произвести выделение *чистых линий*. Анализу подверглась масса семян фасоли *Phaseolus vulgaris*. В настоящее время известно, что масса семян определяется полигенно и в сильной степени подвержена влиянию факторов внешней среды.

Иогансен провел взвешивание семян одного сорта фасоли и построил вариационный ряд по этому показателю. Масса варьировала в пределах от 150 до 750 мг. В дальнейшем семена массой 250–350 и 550–650 мг были высеяны отдельно. С каждого выросшего растения семена были вновь взвешены. Тяжелые (550–650 мг) и легкие (250–350 мг) семена, выбранные из сорта, представляющего популяцию, дали растения, семена которых отличались по массе: средняя масса семян растений, выросших из тяжелых семян, составила 518,7 мг, а из легких – 443,4 мг. Этим было показано, что сорт – популяция фасоли – состоит из генетически различных растений, каждое из которых может стать родоначальником чистой линии. На протяжении 6–7 поколений Иогансен отбирал тяжелые и легкие семена с каждого растения в отдельности. Ни в одной линии не произошло сдвига массы семян. Изменчивость размеров семян внутри чистой линии была *ненаследственной*, или *модификационной*.

Таким образом, Иогансен генетически неоднородные (гетерогенные) популяции противопоставлял однородным *чистым линиям* (или клонам), в которых невозможен отбор вследствие отсутствия выбора.

Вскоре подобные исследования были выполнены и для перекрестно-оплодотворяющихся организмов (работы Д. Джонса и Е. Иста с табаком).

Английский математик Г. Харди (1908) сформулировал понятия *панмиксии* (свободного скрещивания) и создал математическую модель для описания генетической структуры *панмиктической популяции*, т.е. популяции свободно скрещивающихся раздельнополых организмов. Немецкий врач-антрополог В. Вайнберг (1908) независимо от Харди создал сходную модель панмиктической популяции.

Учение о неоднородности популяций развил российский генетик С.С. Четвериков. Его работой «О некоторых аспектах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» (1926) было положено начало современной эволюционной и популяционной генетики. В 1928 г. А.С. Серебровский создал учение о генофонде.

В течение 1920–1950-х гг. в англоязычных странах формируется понятие *идеальной популяции*, и на основании этого понятия интенсивно развивается математическая генетика (С. Райт, Р. Фишер, Д. Холдейн и др.).

В нашей стране учение о популяциях развивалось в работах И.И. Шмальгаузена (популяция рассматривалась как элементарная единица эволюционного процесса), А.Н. Колмогорова (анализировались случайные процессы в популяциях) и других ученых. Однако в большинстве случаев популяция рассматривалась с общебиологической точки зрения (например, как форма существования вида – С.С. Шварц).

Лишь в 1960–1970 гг., благодаря работам Н.В. Тимофеева-Ресовского и его сотрудников формируется синтетический подход к определению популяции как эколого-генетической системы.

В настоящее время существует три основных подхода к определению понятия «популяция»: экологический, генетический и синтетический.

**Экологический подход.** С точки зрения экологии, *популяцией* является совокупность особей одного вида в пределах одного биоценоза (фитоценоза), т.е. целостная внутривидовая группировка, которой соответствует минимальная реализованная экологическая ниша. Такую группу особей иначе называют *экологической* или *локальной популяцией*, а также (для растений) *ценотической популяцией* или *ценопопуляцией*.

Р. Дажо (1975) трактует понятие «популяция» как «...совокупность особей одного вида, живущих на территории, границы которой обычно совпадают с границами биоценоза, включающего данный вид».

Ю. Одум (1971, 1975) определяет популяцию как «...группу особей одного вида (или иные группы, в которых организмы могут обмениваться генетической информацией), занимающую определенное пространство...».

Таким образом, популяция представляет собой множество особей, объединенных в пространственно-временном и экологическом отношении.

**Генетический подход.** С точки зрения генетики, *популяция* – это генетическая система, обладающая исторически сложившейся генетической структурой. Основные положения популяционной генетики возникли на основании изучения природных и модельных популяций высших раздельнополых животных (моллюсков, насекомых, позвоночных), которые воспроизводят себя с помощью нормального полового размножения – *амфимиксиса*, или объединения женских и мужских гамет.

В таких случаях группировка особей, способных скрещиваться между собой и производить полноценное (т.е. жизнеспособное и плодовитое) потомство, называется *генетической* или *менделевской популяцией*. В свою очередь, потомки, достигшие половозрелости, также должны скрещиваться между собой и производить полноценное потомство, т.е. популяция должна существовать длительное число поколений.

Таким образом, популяция представляет собой множество особей, объединенных достаточно высокой степенью родства. В рамках генетического подхода выделяется представление об идеальной популяции.

*Идеальная популяция* – это абстрактное понятие, которое широко используется в моделировании микроэволюционных процессов. При описании систем скрещивания в идеальной популяции применяют понятие *панмиксии* – случайного свободного скрещивания, при котором вероятность встречи гамет не зависит ни от генотипа, ни от возраста скрещивающихся особей. Если исключить половой отбор, то к панмиктической популяции применима *концепция гаметного резервуара*, согласно которой в популяции в период размножения формируется гаметный резервуар (*генный пул*), включающий *банк*

*женских гамет* и *банк мужских гамет*. Если члены популяции равноудалены друг от друга, то встреча гамет и формирование зигот происходят случайным образом.

Реальные популяции в большей или меньшей степени отличаются от идеальной. Одним из наиболее существенных отличий является множество способов воспроизведения. По способу воспроизведения различают следующие типы популяций:

- *амфимиктические* – основным способом размножения является нормальное половое воспроизведение;

- *амфимиктические панмиктические* – при формировании брачных пар наблюдается панмиксия (свободное скрещивание);

- *амфимиктические инбредные* – при формировании брачных пар наблюдается близкородственное скрещивание (инбридинг, инцухт, инцест); крайним случаем близкородственного скрещивания является самооплодотворение;

- *апомиктические* – наблюдаются различные отклонения от нормального полового процесса (апомиксис, партеногенез, гиногенез, андрогенез);

- *клональные* – при отсутствии полового процесса и размножении только вегетативным путем или с помощью спор бесполого размножения (например, конидий); частным случаем клонирования является *полиэмбриония* – развитие нескольких зародышей из одной зиготы;

- *комбинированные* – например, клонально-амфимиктические при метагенезе у кишечнополостных (чередовании бесполого и полового размножения) и гетерогонии (чередовании партеногенетического и амфимиктического поколений у червей, некоторых членистоногих и низших хордовых).

**Синтетический подход.** В этом случае популяция рассматривается как эколого-генетическое единство признаков и свойств. Основоположники такого подхода Н.В. Тимофеев-Ресовский, А.В. Яблоков (1973) дают следующее определение *популяции*: «... это минимальная самовоспроизводящаяся группа особей одного вида, на протяжении эволюционно длительного времени населяющая определенное пространство, образующая самостоятельную генетическую систему и формирующая собственную генетическую нишу». Это определение хорошо характеризует особенности синтетического подхода.

Наиболее полным и всеобъемлющим общепринятым определением популяции является в настоящее время следующее: **популяция** – совокупность особей одного вида, населяющих в течение неопределенно длительного периода времени определенное пространство, внутри которой осуществляется свободное скрещивание особей (панмиксия) и которая достаточно изолирована тем или иным способом от других популяций того же вида.

В некоторых случаях при изучении популяции уместно использовать понятие формы популяционного ранга.

*Формой популяционного ранга* (ФПР) или *группой популяционного ранга* (ГПР) называют группу особей, несколько меньшую или несколько большую, чем собственно популяция.

К ФПР (ГПР) меньшим, чем собственно популяция, относятся внутрипопуляционные и внепопуляционные группировки особей одного вида, которые хотя бы частично способны к самовоспроизведению. В то же время, эти группировки недостаточно изолированы от других подобных группировок, не образуют устойчивые генетические системы и не формируют собственные экологические ниши.

К ФПР большим, чем собственно популяции, относятся популяционные системы, состоящие из нескольких популяций, связанных между собой в пространственно-генетическом и (или) историческом (микроэволюционном) отношении.

Для обозначения внутрипопуляционных группировок используют различные термины: *панмиктические единицы*, *соседства*, *демы* и др.

Отдельно выделяют *псевдопопуляции* – внутривидовые группировки, неустойчивые во времени и, как правило, не оставляющие после себя потомства. Группировки популяционного ранга, внутрипопуляционные группировки и псевдопопуляции могут быть частью истинных популяций, или на их основе формируются в дальнейшем истинные популяции. Примеры таких группировок: поле пшеницы, березовая роща, колония грызунов, муравейник, население административного района (например, вороны г. Минска).

Таким образом, популяции – это надорганизменные биологические системы, которые обладают рядом свойств, не присущих отдельно взятой особи или просто группе особей. Популяция как любая сложная система характеризуется динамикой, структурой и системными (групповыми) свойствами-характеристиками.

**Основные характеристики популяции.** Различают *статистические* характеристики популяции (численность, плотность, популяционный ареал) и *динамические* (рождаемость, смертность, относительный и абсолютный прирост численности).

Основными показателями структуры популяций является численность, распределение организмов в пространстве (популяционный ареал) и соотношение разнокачественных особей. В связи с размерами ареала популяций может значительно изменяться и численность особей в популяциях.

*Популяционный ареал* – территория (акватория), на которой распространена данная популяция.

*Пространственный ареал*, занимаемый популяцией, может быть неодинаковым как для разных видов, так и в пределах одного вида. Величина ареала популяции в большей мере зависит от степени подвижности особей, или *радиусов индивидуальной (репродуктивной) активности*. Если такой радиус невелик, то величина популяционного ареала также невелика, и наоборот. Для животных характерен еще и *трофический ареал*, который может не совпадать с репродуктивным. Например, белый аист *Ciconia ciconia* летом обитает в Европе, а зимует в Африке, т.е. обладает огромным по протяженности трофическим ареалом, так как и на месте обитания, и во время перелетов он питается по всей территории. Однако каждая пара птиц возвращается обычно в район своего старого гнезда, а популяции аистов хотя и смешиваются на местах зимовок, но во время размножения занимают достаточно небольшую территорию. Этот пример также наглядно показывает, насколько бывает трудно определить популяционный ареал и причины, его формирующие.

У растений радиус репродуктивной активности определяется расстоянием, на которое могут распространяться вегетативные части, семена или пыльца, способные дать жизнь новым особям вида.

В зависимости от размеров пространственного ареала выделяют три основных типа популяций: элементарные, экологические и географические.

*Элементарная популяция (микроразновидность)* – элементарная группировка особей со сходными возрастными, морфологическими, физиологическими и поведенческими показателями, приуроченные к микробиотопу (Н.В. Лебедев, 1976).



В состав их обычно входят генетически однородные особи. Количество элементарных популяций, на которые распадается вид, зависит от разнородности условий среды обитания: чем они однообразнее, тем меньше элементарных популяций, и наоборот. Между элементарными популяциями всегда имеются некоторые отличия, проявляющиеся в генетическом своеобразии, фенологических особенностях, способности к накоплению питательных веществ, интенсивности обмена, характере поведения, т.е. каждая элементарная популяция морфофизиологически и этологически (поведенчески) специфична. Различия между ними, прежде всего, определяются их генетическим своеобразием и средой обитания. Однако нередко смешение особей элементарных популяций, происходящее в природе, стирает границы между ними.

*Экологическая популяция* формируется как совокупность элементарных популяций. В основном это внутривидовые группировки, слабо изолированные от других экологических популяций вида, поэтому обмен генетической информацией между ними происходит сравнительно часто, но реже, чем между элементарными популяциями. Экологическая популяция имеет свои особые черты, отличающие ее в чем-то от другой соседней популяции. Белки (*Sciurus vulgaris*) заселяют различные типы леса, поэтому могут быть четко выделены «сосновые», «еловые», «пихтовые», «елово-пихтовые» и другие их экологические популяции.

Выявление свойств отдельных экологических популяций является важной задачей в познании свойств вида и определении его роли в том или ином популяционном ареале.

*Географическая популяция* охватывает группу особей, населяющих территорию с географически однородными условиями существования. Такой тип популяции занимает сравнительно большой популяционный ареал, достаточно разграничен и относительно изолирован. Различаются плодовитостью, размерами особей, рядом экологических, физиологических, поведенческих и других особенностей. Для географической популяции возможен генетический обмен, хотя он происходит реже, чем в популяциях других типов. При перекрестном скрещивании особи каждой популяции приобретают общий морфологический тип, но несколько отличающийся от соседней географической популяции, с которой регулярного контакта нет.



Популяционный ареал может уменьшаться или увеличиваться, что связано с изменением условий среды и условий существования популяции. При освобождении экологической ниши одной популяцией она неизбежно и достаточно быстро занимает другие популяциями организмов разного уровня организации.

Искусственная интродукция популяции какого-то вида организмов обычно приводит к изменению популяционного ареала аборигенных популяций, вплоть до их полного исчезновения. Это очень важно иметь в виду при создании и развитии агробиоценозов, селитебных территорий, иных искусственных объектов.

Особи в популяции могут иметь различные типы пространственного распределения, выражающие их реакции на различные факторы, такие как наличие доступной добычи (пищи), благоприятные физические условия, конкурентные реакции и др. Выделяют следующие типы пространственного распределения особей в популяции – равномерное, случайное, регулярное и пятнистое (групповое).

*Равномерное распределение* особей в популяции встречается в природе достаточно редко. Чаще всего оно связано с острой конкуренцией между отдельными видами, в результате которой один вид в силу ряда причин занимает практически все экологические ниши или с искусственно созданными человеком условиями (поля сельскохозяйственных растений, выпас скота и др.).

*Случайное распределение* встречается только в однородной среде и у видов, не имеющих склонности к агрегации. Например, распределение рыжего мукоеда *Laemophloeus testaceus* F. в мешке с мукой совершенно случайно, однако по мере увеличения численности его популяции распределение принимает равномерный или пятнистый характер. То же самое можно сказать о большинстве видов организмов в начальной стадии освоения ими того или иного пространства.

*Распределение пятнами или группами* – наиболее часто встречающийся тип пространственного распределения. Оно связано, прежде всего, с небольшими, но очень важными для организмов изменениями в окружающей среде или поведении. По Ю. Одуму (1986) групповое распределение обеспечивает популяции более высокую устойчивость по отношению к неблагоприятным условиям по сравнению с отдельной особью.

Знание типа распределения организмов имеет большое значение при оценке плотности популяции методом выборки (в случае группового размещения площадь выборки должна быть большая).

Возьмем  $n$  выборок. Среднее число особей в каждой выборке обозначим через  $m$  и получим рассеяние или дисперсию  $S^2$  по формуле

$$S^2 = \frac{\sum (x - m)^2}{n - 1},$$

где  $x$  – фактическое число особей вида на каждой площадке.

При равномерном распределении дисперсия  $S^2$  равна нулю, так как число особей в каждой выборке постоянно и равно среднему. При случайном распределении среднее  $m$  и дисперсия  $S^2$  равны. При групповом распределении рассеяние  $S^2$  выше среднего и разница между ними тем больше, чем сильнее тенденция животных к образованию скоплений (Р. Даждо, 1975).

*Численность популяции* – это общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности. В период размножения происходит рост популяции. Смертность же, наоборот, приводит к сокращению ее численности.

*Рождаемость* – это способность популяции к увеличению числа особей за определенный период времени. Показатель характеризует частоту появления новых особей в популяции. Рождаемость определяют как число особей (яиц, семян и т.д.) –  $\Delta N$ , родившихся (отложенных, продуцированных) в популяции за некоторый промежуток времени  $\Delta t$ . Различают рождаемость абсолютную и удельную.

**А б с о л ю т н а я ( о б щ а я )** рождаемость – это число новых особей ( $\Delta N_n$ ), появившихся за единицу времени ( $\Delta t$ ).

Для того чтобы удобнее было сравнивать между собой популяции разной численности, величину  $\Delta N_n / N \Delta t$  обычно относят к общему числу особей  $N$  в начале промежутка времени  $\Delta t$ . Полученную величину  $\Delta N_n / N \Delta t$  называют **у д е л ь н о й** рождаемостью.

Поскольку в течение исследуемого промежутка  $\Delta t$  величина рождаемости может меняться, этот промежуток стараются сделать по возможности короче, т.е. при  $\Delta t \rightarrow 0$  выражение  $\Delta N_n / N \Delta t$  примет вид

$$aN_n / Ndt = b,$$

где  $d$  – знак дифференциала.

Полученную величину  $b$  называют также мгновенной удельной рождаемостью. Размерность ее – «единица времени<sup>-1</sup>».

Единица времени, выбранная для оценки рождаемости в той или иной популяции, изменяется в зависимости от интенсивности размножения исследуемых организмов. Для растущей в оптимальных лабораторных условиях популяции бактерий такой единицей может быть час, для популяции планктонных водорослей – сутки, для многих насекомых – неделя или месяц, а для крупных млекопитающих – год.

Рождаемость может быть величиной положительной или равной нулю. В живых организмах заложена огромная возможность к размножению. Основная задача живого – это оставить максимальное количество потомства, что подтверждается *правилом максимальной рождаемости (воспроизводства)*: в популяции имеется тенденция к образованию теоретически максимально возможного количества новых особей. Максимальная рождаемость является константной величиной для любой популяции.

Однако это правило может быть реализовано только в идеальных условиях при отсутствии лимитирующих экологических факторов, а размножение ограничено лишь физиологическими особенностями вида. Например, один одуванчик менее чем за 10 лет способен заселить своими потомками земной шар, если все семена прорастут, тогда как многие бактерии делятся каждые 20 мин. При таком темпе одна клетка за 36 ч может дать потомство, которое покроем сплошным слоем всю поверхность планеты. Но в реальных условиях никогда этого не происходит. Обычно действует механизм *экологической, или реализуемой, рождаемости*, зависящий от специфических условий среды. Поэтому *максимальная рождаемость* – это предел скорости увеличения числа особей в популяции.

Максимальная рождаемость как динамическая характеристика популяции важна тем, что с ней как с константной величиной можно сравнивать иные наблюдаемые величины рождаемости в тех случаях, когда известны условия среды, при которых она определяется. Наиболее корректно определение

максимальной рождаемости не только при отсутствии лимитирующих экологических факторов среды, но и при оптимальных размерах популяции.

Рождаемость непосредственно связана с плодовитостью.

*Плодовитость* – эволюционно сложившаяся способность живых организмов компенсировать естественную смертность размножением, или скорость, с которой особь продуцирует потомков.

Характер плодовитости зависит от скорости полового созревания особей, числа генераций в течение сезона, количества в популяции самок и самцов. Если вид размножается с большой скоростью и чутко реагирует на изменения условий среды, то численность популяций его быстро и существенно изменяется.

Репродукционные возможности популяции в значительной степени определяются ее возрастной и половой структурой.

В жизни большинства организмов различают три периода: предрепродукционный (до половой зрелости), репродукционный (половая зрелость) и пострепродукционный. Относительная продолжительность их у разных видов варьируется в широких пределах, но у большинства высокоорганизованных существ обычно первый период самый длинный.

С целью описания и изучения возрастной структуры популяции используют построение пирамиды возрастов. Существует три типа пирамид:

- пирамида с широким основанием, что говорит о высоком проценте молодняка, характерная для популяции с быстрым ростом;
- со средним основанием для популяции с умеренным процентом молодняка;
- пирамида с узким основанием и численным преобладанием старых особей над молодняком, характерная для сокращающихся, угасающих популяций.

На рис. 1.3 представлены типы возрастных пирамид с их характерными особенностями.

В 1925 г. А. Лоткой было сформулировано *правило стабильности возрастной структуры популяции*: любая естественная популяция стремится к стабильной возрастной структуре, четкому количественному распределению особей по возрастам. Это правило является следствием правила максимальной рождаемости (плодовитости, воспроизводства) популяции. Если это стабильное состояние из-за временного притока или оттока особей в другую популяцию по тем или

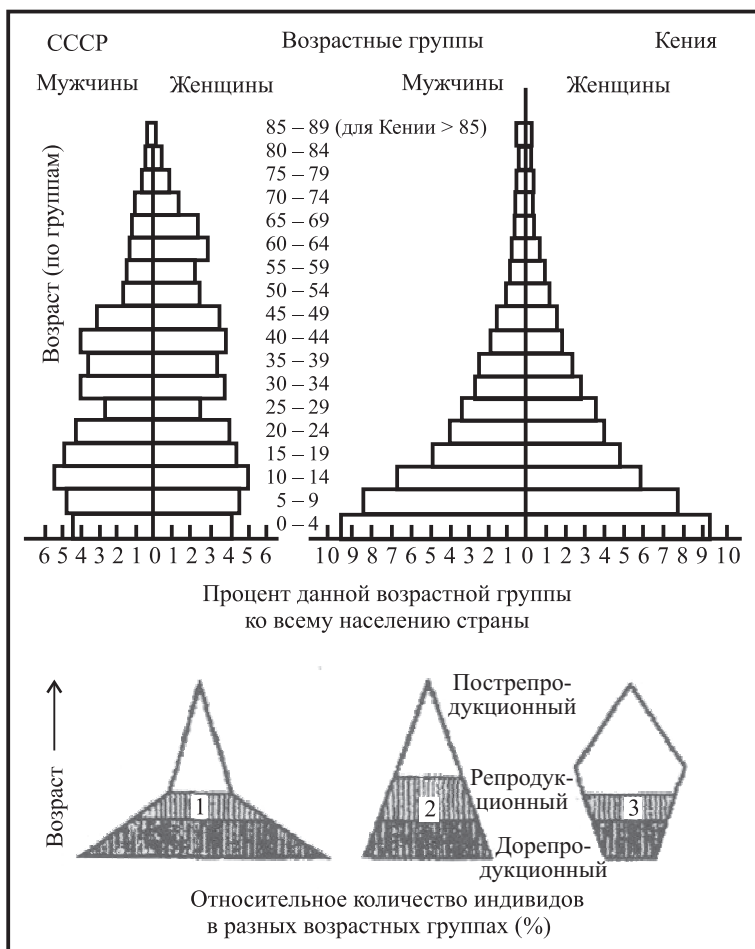


Рис. 1.3. Возрастные пирамиды и их типы (на примере населения бывшего СССР (1970) и Кении (1969):

1 – массовое размножение; 2 – стабильная популяция; 3 – сокращающаяся популяция (по Н.Ф. Реймерсу, 1990)

иным причинам нарушается, то после восстановления прежних условий существования возрастная структура популяции будет стремиться достигнуть прежнего состояния. Наибольший успех к распространению будет иметь та популяция, которая представлена всеми возрастными группами в оптимальном их соотношении.

Правило Лотки в большей степени справедливо для высших организмов с развитой возрастной структурой популяции и не имеет свойств универсальности, однако в более широком, биосистемном, смысле оно признается универсальным.

При наличии у данного вида организмов половой дифференциации правило стабильности возрастной структуры популяции необходимо дополнять *правилом стабильности соотношения полов*.

Половая дифференциация (бисексуальность) играет огромную роль в поддержании генетической разнокачественности особей популяции, что, в свою очередь, обеспечивает *устойчивость популяции*, т.е. ее способность адекватно реагировать на изменения окружающей среды. Половая структура бисексуальной популяции определяется количеством самок и самцов в ней.

Принято выделять следующие соотношения полов в популяции: первичное соотношение полов определяется генетическими механизмами, т.е. равномерностью распределения половых хромосом; вторичное соотношение полов – это соотношение полов на момент рождения; третичное соотношение полов – это соотношение полов среди взрослых (репродуктивных) особей.

Для определения половой структуры популяции существенную роль играет половой индекс.

*Половой индекс* ( $I_s$ ) – это отношение общего числа половозрелых самок ( $n_{\text{♀ ж}}$ ) к общей численности популяции ( $N$ ):

$$I_s = n_{\text{♀ ж}} \dots / N.$$

В совокупности эти два рассмотренных правила составляют *правило стабильности половозрастной структуры популяции*.

Таким образом, плодовитость является константой, определяемой расчетным путем, например умножением среднего числа гнезд, которые способна построить самка птицы за год, на такое же число яиц, которые она может отложить в наиболее благоприятную часть сезона года.

*Смертность* – величина, противоположная рождаемости, может быть определена как число особей  $\Delta N_m$ , погибших за время  $\Delta t$ . Так же как и при оценке рождаемости, смертность обычно относят к общему числу особей в популяции  $N$ , а промежутки  $\Delta t$  стараются брать по возможности короче.

Мгновенная удельная смертность  $d$  выражается формулой

$$d = dN_m / Ndt.$$

Размерность мгновенной удельной смертности такая же, как рождаемости. Традиционно величина смертности в экологической и демографической литературе обозначается буквой  $d$  (от англ. *death-rate*). При этом не следует путать  $d$  (смертность) с  $d$  (знаком дифференциала в выражениях типа  $dN/dt$ ).

Численность и плотность популяции зависит, наряду с рождаемостью, и от смертности.

Смертность популяции – это количество особей, погибших за определенный период. Различают абсолютную (общую) и удельную смертность.

**Абсолютная (общая) смертность** – это число особей ( $\Delta N_m$ ), погибших в единицу времени ( $\Delta t$ ).

**Удельная смертность ( $d$ )** выражается отношением абсолютной смертности к численности популяции:

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

Абсолютная и удельная смертность характеризуют скорость убывания численности популяции вследствие гибели особей от хищников, болезней, старости и т.д.

*Экологическая (реализованная) смертность* – гибель особей в данных условиях среды. Эта величина не постоянная, она изменяется в зависимости от условий среды и состояния популяции. Полная картина смертности описывается статистическими таблицами выживаемости.

Смертность является величиной положительной или равной нулю, но последнее бывает крайне редко и только в течение короткого времени.

Различают три типа смертности:

- первый – характеризуется одинаковой смертностью во всех возрастах. Выражается экспоненциальной кривой (убывающей геометрической прогрессии). Данный тип смертности встречается редко и только у популяций, которые постоянно находятся в оптимальных условиях (человек, некоторые млекопитающие, дрозофилы и другие лабораторные животные и растения);

- второй – характеризуется повышенной гибелью особей на ранних стадиях развития и свойственен большинству растений и животных. Максимальная гибель животных происходит в личиночной фазе или в молодом возрасте, у многих растений – в стадии произрастания семян и всходов. У насекомых до взрослых особей доживает 0,3–0,5% отложенных яиц, у многих рыб – 1–2% количества выметанной икры;

- третий – отличается повышенной гибелью взрослых, в первую очередь старых особей. Распространен у насекомых, личинки которых обитают в почве, воде, древесине, а также в других местах с благоприятными условиями защиты, тогда как взрослые особи подвергаются постоянным воздействиям неблагоприятных факторов среды.

В связи с этим в экологии широко распространено графическое построение кривых выживания (рис. 1.4).

Располагая по оси абсцисс продолжительность жизни в процентах от общей продолжительности жизни, можно сравнивать кривые выживания организмов, продолжительность жизни которых имеет значительные различия. На основании таких кривых определяют периоды, в течение которых тот или иной вид особенно уязвим.

Если действие причин, вследствие которых изменяются рождаемость или смертность, приходится на наиболее уязвимую фазу, то их влияние на последующее развитие (рост численности, плотность, плодовитость и т.д.) будет максимальным. Это позволяет, например, регулировать численность насекомых-вредителей или грызунов в зернохранилищах.

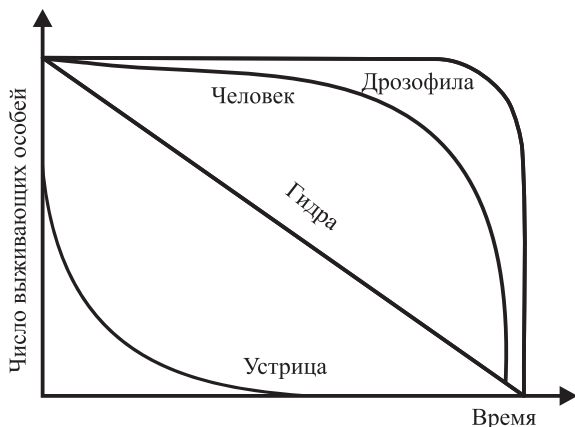


Рис. 1.4. Различные типы кривых выживания (по Р. Дажо, 1975)



Смертность подвержена более резким колебаниям и больше зависит от факторов окружающей среды, чем рождаемость, она играет главную роль в регулировании численности популяции.

Численность популяции является видоспецифическим признаком.

В любой природной системе поддерживается та численность особей в популяциях обитающих здесь животных и растений, которая в наибольшей степени отвечает интересам воспроизводства популяций.

Основное уравнение динамики численности популяции выглядит следующим образом:

$$r = b - d,$$

где  $r$  – скорость наблюдаемого изменения численности, или коэффициент прироста изолированной популяции;  $b$  – коэффициент рождаемости;  $d$  – коэффициент смертности.

В соответствии с этим уравнением рост популяции описывается экспоненциальной кривой. Это говорит о том, что оно справедливо для идеальной популяции, имеющей неограниченные пищевые ресурсы, не подвергающейся никаким внешним воздействиям среды и распространяющейся на неограниченной территории.

Понятно, что в реальных условиях эти требования не могут быть выполнены. Поэтому в 1845 г. французский математик Ферхюльст высказал гипотезу, что рост популяции человека описывает логистическая ( $S$ -образная) кривая, а в 1925 г. Р. Пирл (R. Pearl) применил эту кривую к росту любой популяции, располагающей ограниченным, но восполняемым во времени запасом пищи.

Уравнение логистической кривой выглядит следующим образом:

$$dN/dt = rN(K - N/K),$$

где  $dN/dt$  – коэффициент роста;  $r$  – коэффициент прироста;  $N$  – численность популяции;  $K$  – максимальное число особей, способное жить в рассматриваемой среде;  $K - N/K$  – корректирующий фактор, выражающий сопротивление среды росту популяции. Отсюда

$$N = K(1 + e^{a-rt}),$$

где  $a$  – константа, равная  $r/K$ .

Асимптота координаты  $K$ , к которой приближается кривая, соответствует пределу численности, или максимальной биотической нагруженности рассматриваемой среды (рис. 1.5).

Обычно при изучении той или иной популяции очень трудно определить ее абсолютную численность, т.е. провести количественный учет всех особей данной популяции в ареале ее обитания. Поэтому в демэкологии большей частью оперируют таким понятием, как плотность популяции.

*Плотность* популяции определяется количеством особей или биомассой на единицу площади либо объема (например, количество деревьев на 1 га, количество цианобактерий рода воронихия *Woronichinia* в 1 м<sup>3</sup> воды).

Различают среднюю плотность, т.е. численность или биомассу на единицу всего пространства, и удельную, или экологическую, плотность – численность или биомассу на единицу обитаемого пространства, доступной площади объема, которые фактически могут быть заняты популяцией.

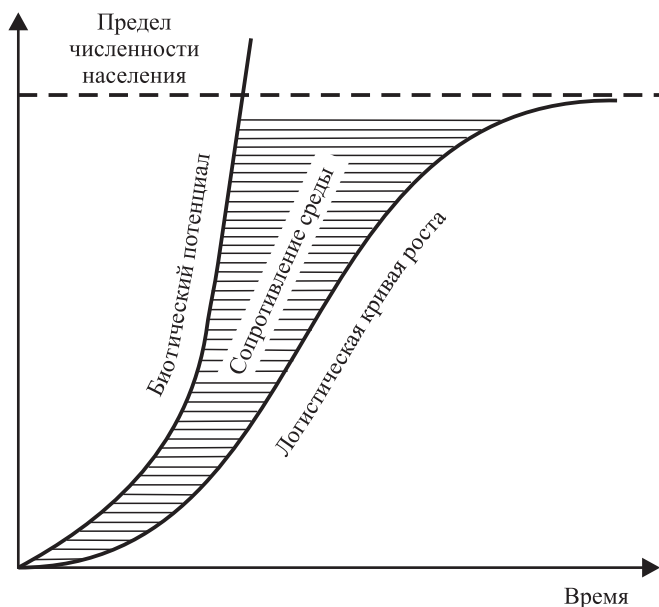


Рис. 1.5. Теоретические кривые роста популяции. Пространство, заключенное между кривой биотического потенциала Чепмана и логистической кривой Ферхюльста, соответствует сопротивлению среды (по Р. Дажо, 1974)

Плотность популяции отличается изменчивостью и зависит от ее численности. При возрастании численности не наблюдается увеличение плотности лишь в том случае, когда возможно распределение популяции за счет расширения ее популяционного ареала.

Из всего вышесказанного закономерности роста, развития и затухания популяции выглядят следующим образом:

- если рождаемость в популяции превышает смертность, то популяция, как правило, будет расти;

- с увеличением плотности скорость роста популяции постепенно снижается до нуля. При нулевом росте популяция стабильна, т.е. размеры ее не меняются. Отдельные организмы при этом могут расти и размножаться. Нулевая скорость роста означает лишь то, что скорость размножения, если оно происходит, уравновешена смертностью. Данная картина характерна для ряда одноклеточных и многоклеточных организмов, например для клеток водорослей в культуральной жидкости, для фитопланктона озер и океанов весной, для насекомых (мучные хрущачи, а также клещи, интродуцированные в новое местообитание с обильными запасами пищи, где нет хищников);

- миграция, или расселение, также как и внезапное снижение скорости размножения, способствует уменьшению численности популяции. Расселение может быть связано с определенной стадией жизненного цикла, изменениями условий среды, появлением лимитирующих факторов. Рассматривая вопрос об оптимальных размерах популяции в данной среде, необходимо учитывать кормовую продуктивность среды. Чем выше поддерживающая емкость, тем больше максимальный размер популяции, который может существовать неопределенно долгое время в данном местообитании. Дальнейшему росту популяции будут препятствовать один или несколько лимитирующих факторов. Это зависит, прежде всего, от доступности ресурсов для данного вида.

Таким образом, скорость роста популяции в естественных местообитаниях будет зависеть от климатических изменений, снабжения пищей и того, ограничено ли размножение определенным временем года и рядом других факторов.

Популяции, существующие в условиях ограниченных ресурсов, нередко хорошо подчиняются правилам логистического роста.

Численность естественной популяции может колебаться в значительных пределах.

В связи с тем что любая популяция обладает строго определенной генетической, фенотипической, половозрастной и другой структурой, она не может состоять из меньшего числа индивидов, чем необходимо для обеспечения стабильной реализации этой структуры и устойчивости популяции к факторам внешней среды. В этом и состоит *принцип минимального размера популяций*. Минимальная численность популяций, обеспечивающая существование вида, является специфической для разных видов.

Также относительно численности популяции, сопоставляя соотношение законов максимума биогенной энергии и давления среды, Одум (1975) формулирует *правило популяционного максимума*, которое звучит следующим образом: популяции эволюционируют так, что регуляция их плотности осуществляется на значительно более низкой по сравнению с верхней асимптотой емкости местообитания, достигаемой лишь в том случае, если полностью используются ресурсы энергии и пространства. При росте плотности популяции снижается обеспеченность пищей. У многих животных от потребления пищи прямо зависит плодовитость: при увеличении плотности популяции плодовитость падает, и это предотвращает дальнейший рост численности.

Правило популяционного максимума конкретизирует два обобщения. Первое из них известно как *теория Х.Г. Андресарти – Л.К. Бирча* (1954), или *теория лимитов популяционной численности*: численность естественных популяций ограничена истощением пищевых ресурсов и условий размножения, недоступностью этих ресурсов и слишком коротким периодом ускорения роста популяции. Второе обобщение дополняет первое и носит название *теории биоценотической регуляции численности популяции К. Фридерикса* (1927): регуляция численности популяции есть результат комплекса воздействий абиотической и биотической среды в местообитании вида.

Совокупность всех факторов, способствующих увеличению численности популяции, называется *биотическим потенциалом*. Несмотря на то, что у разных видов составляющие биотического потенциала неодинаковы, имеется общее свойство: у всех видов он достаточно высок для стремительного увеличения численности при благоприятных условиях среды.

Рост популяции может быть столь быстрым, что приведет к *популяционному взрыву*. Однако следует отметить, что повышение плотности популяций сверх оптимальной оказывает

на них неблагоприятное воздействие, так как при этом иссякает кормовая база, сокращается жизненное пространство, появляются эпизоотии и т.д.

*Колебания численности популяции* – изменение численности популяции во времени под влиянием абиотических факторов, а также в процессах иммиграции или эмиграции.

*Иммиграция* – активное вселение особей популяции на другую территорию.

*Эмиграция* – массовое выселение с занимаемой территории особей, когда плотность популяции превышает емкость среды.

Различают непериодические (редко наблюдаемые) и периодические колебания численности.

Непериодические колебания численности (*осцилляции*) обычно носят непредвиденный характер, и причины, их вызывающие, до сих пор неясны. Р. Даже приводит такой пример: в 1946 г. во Франции в лесу Фонтенбло жужелица *Nomius rugtaeus* имела среднюю численность, а жужелица *Agonum quadripunctatum* – очень высокую, тогда как в 1934 и 1935 гг. было выявлено всего по одной особи первого вида и несколько экземпляров второго. Причем, такая их численность держалась до 1946 г., позже ни тот ни другой вид в этом месте не встречался. Или другой пример: с 1966 г. в Тихом океане, особенно в районе Большого Барьерного рифа к северо-востоку от Австралии, началось массовое развитие морской звезды *Acanthaster planci*. Если до этого времени она встречалась крайне редко, то за 10 лет ее плотность увеличилась до 1 особи на 1 м<sup>2</sup> и продолжала расти. Эта морская звезда питается полипами, составляющими живую часть коралла. Менее чем за 3 года эта морская звезда полностью уничтожила почти 40 км кораллового рифа у острова Гуам. Встал вопрос об угрозе всему Большому Барьерному рифу, что привело бы к экологической катастрофе не только в районе его нахождения, но и в других регионах планеты. Однако, через 10 лет численность морской звезды неожиданно упала до первоначальной – единичные особи на многие метры дна. Причем до настоящего времени так и не выяснено, по каким причинам происходят такие колебания численности популяций.

Периодические колебания численности (*флуктуации*) являются естественными для популяции. Они бывают нескольких видов: колебания численности с определенным периодом времени (циклические) и сезонные.

На резкие периодические колебания численности популяций впервые обратил внимание С.С. Четвериков, который назвал их волнами жизни или популяционными волнами.

*Волны жизни* – закономерно повторяющиеся подъемы и спады численности природных популяций. Различают большие и малые волны. Первые могут достигать необычайного размаха даже у достаточно крупных животных, если они способны быстро размножаться. Например, численность зайца-беляка в Якутии в некоторые годы стремительно возрастает от 1000 до 2500 раз. У мелких плодовых видов (насекомые, водоросли, водные беспозвоночные и др.) эта амплитуда несравненно больше – до 10 000 и более раз. Волны жизни являются поставщиком эволюционного материала, но весьма опасны для выживания малочисленных популяций.

Для большинства популяций характерно *циклическое изменение численности*. Например, у зайца-беляка и рыси период колебания численности равен 9,6 года, причем максимальная численность зайца обычно по сравнению с рысью сдвинута на 1–2 года. Это вполне объяснимо: рысь питается зайцами и поэтому ее популяция испытывает соответствующие колебания численности доступной пищи. С другой стороны, рождаемость и выживаемость рысей существенно ниже, чем у зайца-беляка. Для полярной совы, песца и лемминга, живущих в тундре, характерны циклические изменения со средним периодом 4 года. Полярная сова и песец в основном питаются леммингами. У атлантического канадского лосося наблюдается максимум численности через 9–10 лет. Максимум численности клеста в Финляндии наблюдается приблизительно каждые 3 года, что приурочено к максимальному урожаю еловых шишек, семенами которых он питается.

Трудно сказать, какими конкретно причинами вызываются такие циклические изменения численности популяций. Ряд авторов связывает их с циклами солнечной активности, большинство же описывают как существующее явление.

Пока известна одна достоверная причина колебания численности ряда популяций. У берегов Перу проходит теплое течение Эль Ниньо. Приблизительно 1 раз в 7 лет его теплые воды вытесняют с поверхности холодные, температура воды быстро поднимается на 5 °С и выше и изменяется соленость. В связи с этим происходит массовая гибель планктона, вода насыщается продуктами распада, снижается количество растворенного кислорода, который идет на окисление избыточно-

го количества органического вещества. В результате этих процессов гибнет рыба, морские птицы, оставшись без пищи, вынуждены эмигрировать в другие районы. Часть естественных популяций исчезает практически полностью, другие находятся в сильно угнетенном состоянии. Но через 1–2 года после ухода Эль Ниньо, численность популяций, их видовой состав восстанавливаются практически в полном объеме.

*Сезонные колебания численности* характерны для большинства водных и наземных организмов. Эти колебания, прежде всего, связаны с абиотическими факторами, такими как температура, влажность, освещенность, о чем будет сказано ниже.

Известен еще один вид изменения численности популяции – *резкий подъем численности популяций*, оказавшихся в новом местообитании. Наличие свободных экологических ниш обеспечивает очень быстрое расселение попадающих в них видов. Несколько кроликов, завезенных переселенцами в Австралию, в связи с отсутствием там хищников, через 3 года образовали многомиллионную популяцию, функционирование и развитие которой уничтожили ряд аборигенных экосистем и значительно изменили биогеоценоз.

И.И. Шмальгаузен выделил четыре фазы изменения численности популяций и дал им оценку с точки зрения значимости для эволюционного процесса. Он считал популяцию основной единицей микроэволюции.

*Первая фаза* – рост численности в благоприятных условиях. Для нее характерно увеличение индивидуальной изменчивости (накопление и комбинирование мутаций) в связи с ослаблением действия естественного отбора.

*Вторая фаза* – относительная стабилизация, сопровождающаяся усилением конкуренции, а также прямой борьбой за существование. В этот период происходит эффективный отбор наиболее благоприятных комбинаций мутаций и сокращается изменчивость.

*Третья фаза* – более или менее резкое сокращение численности под давлением элиминирующих факторов среды, что связано с дальнейшим сокращением изменчивости и зачастую со случайным сохранением некоторых благоприятных комбинаций мутаций.

*Четвертая фаза* – популяционная волна, связанная с быстрым распространением выживших особей и дальнейшим накоплением новых мутаций, обеспечивающих рост популяции в новых условиях среды.

Знание этих закономерностей важно не только для фундаментальной науки, но, прежде всего, для прикладной экологии, так как позволяет эффективно регулировать численность популяций за счет естественных механизмов.

Все имеющиеся в настоящее время данные позволяют предположить, что механизмы регуляции численности популяций базируются на сложной взаимосвязи изменений генотипической и экологической структур природных популяций (С. Шварц).

С точки зрения познания закономерностей динамики численности популяций важны следующие выводы эволюционной экологии:

- популяции способны поддерживать свою численность в состоянии динамического равновесия, несмотря на постоянные изменения факторов окружающей среды за счет адаптивных гомеостатических реакций отдельных особей в популяции, динамику экологической структуры популяции и изменение ее генетического состава;

- колебания качества популяции – такое же обязательное свойство, как и колебание численности популяции;

- неперенным условием поддержания жизнеспособности популяции в имеющихся условиях среды является высокая степень ее генетической разнородности, которая обеспечивается такими экологическими механизмами, как различный образ жизни разных внутрипопуляционных групп организмов, строгие закономерности формирования пар, разная скорость созревания самцов и самок, разное соотношение полов в разных возрастных группах и др.

Все эти выводы очень важны для прикладной экологии при разработке мер защиты окружающей среды от воздействия негативных факторов, оценки влияния хозяйственной деятельности на биосферу, а также биотехнологии, генной инженерии.

По Шварцу экологические механизмы эволюционного процесса проявляются в трех важнейших формах:

- возрастной отбор, основанный на изменении возрастной структуры популяции;

- неизбирательная элиминация, или изменение численности;

- изменение пространственной структуры популяции.

*Резкие изменения численности* – это важнейший фактор преобразования популяций, причем, вопреки общепризнанным представлениям классической экологии, неизбирательная



элиминация оказывает на экологическую структуру популяции строго избирательное действие, преобразуя ее в определенных направлениях, соответствующих изменениям среды. Резкие колебания численности популяции, как и возрастной отбор, содействуют быстрой мобилизации биологических резервов популяции и являются обычно одним из факторов ее адаптивной эволюции.

В связи с этим необходимо отдавать себе отчет в том, что изменяя численность той или иной популяции или внедряя несвойственные данному биому популяции, получая и вселяя генномодифицированные популяции, мы вмешиваемся в сложнейшие механизмы эволюционного процесса, что может быть куда опаснее глобального экологического кризиса.

## **1.4. Эволюция популяции**

В эволюционном процессе популяция выступает как экологическое, морфофизиологическое и генетическое единство. Общеизвестно, что именно популяция является элементарной эволюционной единицей. Ни одно изменение отдельной особи не может привести к эволюционным процессам вида. Необходимо, чтобы индивидуальные и дискретно возникающие изменения стали присущи группе организмов и подверглись тем или иным эволюционным факторам. Это проявляется только в рамках популяции как длительно существующей, организованной группе особей, которая неделима без утраты ее целостности и других свойств и обладает собственной эволюционной судьбой. Особь в популяции – объект действия главного эволюционного фактора – отбора. Вид – качественный этап эволюционного процесса.

Эволюция популяции обеспечивается внутривидовыми и межвидовыми отношениями, в результате которых формируются экологические стратегии популяций.

### **1.4.1. Внутривидовые отношения в популяции**

Особи в популяции постоянно взаимодействуют между собой. Удовлетворение потребностей в питании и распределении кормовых угодий, выбор места для постройки гнезда или укрытий, спаривание, выращивание потомства, охрана занимаемой территории, расселение и все иные действия осуществ-

ляются только в результате постоянного взаимодействия особей, входящих в популяцию, что и обеспечивает ее существование.

Эти связи складывались в процессе эволюции по мере образования и развития вида как целостной системы. Поэтому все особи, входящие в популяцию, обладают общностью происхождения, рядом общих черт, а также многочисленными специфическими приспособлениями к совместной жизни (рис. 1.6).

Все закрепившиеся в ходе эволюции приспособления иначе называются адаптациями.

**Адаптация** – это процесс приспособления организма, популяции или сообщества к определенным условиям внешней среды за счет появления тех или иных конкретных морфологических и иных признаков. Поэтому эволюцию можно рассматривать как *процесс возникновения адаптаций*, или *адаптогенез*.

Адаптации обеспечивают выживание и размножение организмов в конкретной среде, сохраняют целостность популяции, позволяя ей, при необходимости, за счет изменчивости и отбора приспособиться к изменившимся условиям среды.

При формировании адаптаций происходит превращение случайного (элементарного адаптационного явления) в необходимое для процветания популяции и вида формирование

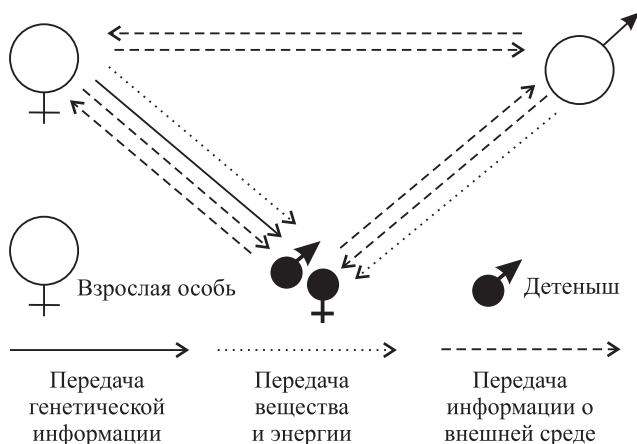


Рис. 1.6. Связи особей в популяции (на примере млекопитающих)

признаков и свойств. Таким образом, адаптации появляются только после того, как возникает специализированный признак у популяции (вида) к элементам среды. Достигается это при выделении отбором *элементарного адаптационного явления* (появление селективно ценного генотипа) и закреплении его в стойком изменении генотипического состава популяции. Именно в этом случае конкретные полезные отклонения отдельных особей превращаются в норму для популяции в целом.

Следует учесть, что приспособления (адаптации) не возникают одновременно, а складываются в процессе многоступенчатого отбора удачных вариантов из множества изменившихся особей в ряде поколений. Так происходит процесс эволюции популяций.

Адаптации классифицируют по происхождению, принадлежности к разным средам, масштабу. В табл. 1.2 приведена классификация адаптаций.

*Таблица 1.2. Классификация адаптаций  
(по Н.В. Тимофееву-Ресовскому и др., 1969)*

Принцип классификации	Группа адаптаций
По происхождению	Возникающие преадаптивным, комбинативным и постадаптивными путями
По принадлежности к разной среде	Генотипические, онтогенетические, популяционно-видовые, биоцено- тические
По эволюционному масштабу	Специализированные и общие
По характеру возникновения изменений	Упрощающие строение системы, усложняющие строение, сохраняющие строение систем и уровень сложности
По длительности сохранения в онтогенезе	Кратковременные, повторяющиеся и постоянные

По принадлежности к факторам среды адаптации бывают весьма различными. В соответствии с уровнями организации живого (см. п. 1.3.1) биотическая среда подразделяется на генотипическую, онтогенетическую, популяционно-видовую и биоцено- тическую. Специфические свойства выделенных сред отличаются и специфическими адаптациями.

*Генотипическая среда* характеризуется целостностью генотипа особи и взаимодействием между собой. Целостность генотипа определяет особенности доминирования генов и развитие *коадаптаций* – гармонических эпистатических взаимодействий генов, собранных вместе естественным отбором.

*Онтогенетической среде* свойственны адаптации на уровне отдельной особи. Они непосредственно связаны с *онтогенезом* – упорядоченными во времени и пространстве процессами реализации наследственной информации, наследственным осуществлением морфогенеза. Здесь также повсеместно встречаются коадаптации (взаимные приспособления), в основе которых лежат корелляции, которые и регулируют онтогенетические дифференцировки. На этом уровне в основном формируются комплексные адаптации физиолого-биохимического характера.

*Популяционно-видовая среда* формируется взаимодействием особей в пределах популяции и вида в целом. Ей соответствуют надорганизменные, популяционно-видовые адаптации, такие как половой процесс, гетерозиготность, резерв наследственной изменчивости, определенность, плотность и т.д. В популяционно-видовой среде сформировались специальные внутривидовые адаптации (приспособления), которые названы С.Н. Северцовым в 1935 г. конгруэнциями.

*Конгруэнции* – это взаимоприспособления особей, возникающие в результате внутривидовых отношений. Они выражаются в соответствии строения и функции органов матери и детеныша, аппаратов размножения самцов и самок, в наличии приспособлений для отыскания особей противоположного пола; приспособлений, обеспечивающих расселение или объединение в стаи (к миграциям или на зиму), разнообразные «сигналы» (запахи, цвет, голос, поведение и др.), все, что привлекает или отвлекает особей, предупреждает их о занятой территории и иные, т.е. охватывают как морфофизиологические, так и этологические (поведенческие) признаки.

Данные приспособления могут носить характер индивидуальных или групповых контактов и формируют характер внутривидовых отношений. Как известно, они могут по-разному осуществляться на разных стадиях развития организмов, меняться в течение жизни особи, в разные сезоны года, а также в связи с изменениями условий обитания.

Взаимоотношения между членами популяции зависят, прежде всего, от формы существования особей видов, составляющих популяцию. Формы же существования особей в популяции чрезвычайно различны. Основными являются одиночный, семейный и групповой образ жизни.

**Одиночный образ жизни** характерен для многих видов насекомых, водных животных, червей. Особи популяции обособлены и независимы друг от друга обычно на каких-то определенных стадиях жизненного цикла. Полностью одиночное существование организмов в природе практически не встречается. Причиной этого является невозможность осуществления большинством живых организмов основных жизненных функций – размножения и выживания в период неблагоприятных условий среды (зимовка, засуха и др.).

Нередко виды с одиночным образом жизни образуют временные скопления особей в период, предшествующий размножению (в местах зимовок и т.д.). Например, бабочки-крапивницы поздней осенью в большом количестве собираются на чердаках, божьи коровки и жулики – возле пней и комлей деревьев в сухой подстилке, щуки и сомы – в зимовальных ямах на дне водоема. Вместе с тем подобные скопления не сопровождаются установлением тесных связей между отдельными животными. Каждое из них сохраняет относительную независимость от остальных.

**Семейный образ жизни** характерен для многих видов птиц и животных. Усложнение отношений внутри популяций происходит по двум направлениям: усилению связи между половыми партнерами и возникновению контактов между родительским и дочерними поколениями. На этой основе в популяциях формируются семьи, разнообразные по составу и длительности существования.

Родительские пары могут создаваться на короткий или длительный срок, а у некоторых видов – на всю жизнь взрослых особей. Например, многие птицы (тетерева, глухари и др.) не образуют устойчивых семейных пар; у ряда воробьиных самка и самец держатся вместе в течение всего периода гнездования; на долгие годы сохраняют семейные пары лебеди, журавли, голуби.

Создание семей и выбор партнеров у животных сопровождается особым брачным поведением, нередко большой сложности, – танцы, ухаживания и др.

Эти поведенческие реакции у многих насекомых, птиц и млекопитающих нередко предотвращают агрессию и оборону особей противоположного пола, приводят к синхронизации полового созревания, стимулируют готовность к спариванию, что имеет большое значение для размножения, к которому самец и самка должны быть готовы в одно и то же время. Они связаны с рядом генотипических и онтогенетических адаптаций.

Однако в период выбора половых партнеров в популяциях неизбежно усиливаются конкурентные отношения. У многих животных возникают драки самцов, ритуальные демонстрации и другие типы специализированного поведения, которые направлены на устранение конкурентов.

Несмотря на частую ожесточенность, эти столкновения редко приводят к тяжелым травмам соперников, в основном они направлены на изгнание одного из них с территории нахождения самки. Чаще всего используются ритуалы угрозы и демонстрации силы. Эти поведенческие адаптации также выработались в результате эволюции популяции с целью сохранения генетического материала и стабильной численности популяции, так как поверженный соперник не погибает, а имеет возможность реализовать свой генетический потенциал с другим партнером.

Следовательно, период, предшествующий размножению в популяциях животных, характеризуется активным поиском и режим усилением контактов между особями.

Семейный образ жизни укрепляет связи между родителями, между родителями и их потомством в форме заботы о последних. Простейшим видом такой связи является, например, забота одного из родителей об отложенных яйцах (охрана кладки, инкубация, дополнительное аэрирование и т.д.) или забота друг о друге в период высиживания птенцов, беременности. В охране и выкармливании потомства в семьях с устойчивым образованием пар принимают участие обычно как самец, так и самка.

В зависимости от того, кто из родителей берет на себя уход за потомством, различают семьи *отцовского*, *материнского* и *семейного* типов.

Дальнейшее усложнение поведенческих связей в популяциях приводит к формированию *группового образа жизни* (колонии, стаи, стада).

*Колония* – группа постоянно или временно совместно живущих организмов одного вида, каждый из которых способен к самостоятельной жизни, но эволюционно приспособился к проживанию в тесном соседстве, из которого он извлекает какую-либо выгоду. Колонии свойственны бактериям, многим низшим и высшим растениям, животным разного уровня организации.

Колонии по сложности взаимосвязей между особями чрезвычайно разнообразны:

- простые территориальные скопления одиночных форм (морские желуди, мидии, ряд бактерий, низших грибов);
- поселения животных на определенной территории, где некоторые общие функции их жизни выполняются сообща. Это увеличивает вероятность выживания отдельных особей. Такими общими функциями колонии чаще всего становятся защита от врагов и предупредительная сигнализация.

Наиболее сложные формы колонии существуют у общественных насекомых, таких как муравьи, термиты, пчелы. Они возникают на основе сильно разрастающейся семьи, в которой насекомые выполняют сообща большинство основных функций: размножения, защиты, обеспечения кормом себя и потомства, расширения колонии и т.д. Причем здесь существует обязательное разделение труда и специализация отдельных особей и возрастных групп на выполнение определенных операций. Члены колонии действуют на основе постоянного обмена информацией друг с другом.

По мере усложнения колониального объединения поведение, а нередко физиология и строение отдельной особи все больше и больше подчиняются интересам всей колонии, причем это эволюционно закреплено на генетическом и онтогенетическом уровнях.

*Стая* – временные объединения животных, которые проявляют биологически полезную организованность действий. Образование стаи облегчает выполнение каких-либо функций в жизни вида: добычу пищи, защиту от врагов, миграцию. Стайность наиболее широко распространена среди рыб, птиц, ряда млекопитающих. Она является одной из форм социальной организации популяции. В стаях сильно развиты раздражительные реакции и ориентация на соседей. Существование стаи эволюционно закреплено адаптациями морфофизиологического и генотипического характера.

Для координации действий в стае существуют эволюционно закрепленные способы поведения:

- эквипотенциальные – без выраженного доминирования отдельных членов. Они известны у рыб, мелких птиц, перелетной саранчи, других насекомых;
- стаи с лидерами, в которых особи ориентируются на поведение одной или нескольких, как правило наиболее опытных и сильных, особей. Они распространены у крупных птиц и млекопитающих.

В стаях млекопитающих очень важна роль вожаков и специфичны отношения между отдельными особями, что сближает данные групповые образования со стадами.

*Стадо* – более длительные и постоянные объединения животных, проживающих на одной территории, по сравнению со стаями. Здесь осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграции, размножение, воспитание молодняка и т.д.

Существует несколько вариантов организации стада:

- группы с временным или относительно постоянным лидером. Лидером является член стада, на котором концентрируется внимание других членов, а они своим поведением определяют направление перемещения, места кормления, реакцию на хищника и т.д. В этом случае деятельность лидера не направлена непосредственно на подчинение других членов. Лидером становится наиболее опытный член стада. Стадо действует как единое целое, подражая лидеру;
- семейные или возрастные группы с внутренними, более дружелюбными и тесными контактами, чем с членами других аналогичных групп и стада в целом. Независимо от общего лидерства в стаде во внутривидовых группировках могут складываться отношения в форме администрирования – подчинения.

Наиболее сложной является поведенческая организация стад с вожаками и иерархическим соподчинением особей. В отличие от лидеров вожаки характеризуются поведением, направленным непосредственно на активное руководство стадом: специальными сигналами, угрозами и прямыми нападениями, т.е. формируются отношения типа доминирование – подчинение. В таком стаде выражена строгая иерархия особей. Как правило, над слабыми доминируют сильные и опытные, с устойчивым типом нервной системы. Это проявляется в праве на самку, преимуществе при поедании пищи, передви-



жении в группе и др. В стаде ранг каждой особи определяется многими причинами: возрастом, физической силой, опытом и наследственными качествами животного.

Формы доминирования – подчинения весьма различны у разных видов. Наиболее часто встречаются следующие:

- линейная иерархия, или деспотия, при которой в ряду рангов А–В–С особи, принадлежащие к определенному рангу, подчинены предыдущим, но главенствуют над последующими. В таком ряду последние животные – самые бесправные в группе. Животные низшего ранга ведут себя покорно перед всеми остальными, подходят к пище в последнюю очередь. Они изгоняются с лучших мест отдыха, не подпускаются к самкам и т.д.;

- иерархическое соподчинение по типу «треугольника»: А нападает на В, В – на С, а С подчиняет себе А. Данное соотношение может сохраняться в группе довольно долго.

Ранг животного в группе первоначально определяется столкновениями между особями в виде прямой борьбы или ритуальных угроз. После установления ранга всех членов группы прямые столкновения между ними прекращаются и порядок поддерживается сигнальным или ритуальным поведением.

Иерархически организованному стаду свойствен закономерный порядок перемещения, определенная организация при защите, расположении на местах отдыха и т.д.

Биологический смысл иерархической системы доминирования – подчинения заключается в создании согласованного поведения группы, выгодного для всех ее членов. После определения иерархического статуса животные не тратят лишней энергии на индивидуальные конфликты, а в целом группа получает преимущества, подчиняясь наиболее сильным и опытным индивидуумам. Это имеет большое значение для выращивания молодняка, обеспечения защиты от хищников, предупреждения об опасности, миграциях и т.д.

Жизнь в группе любого уровня отражается на протекании многих физиологических процессов в организме животного через нервную и гормональную системы. Наблюдается тесное общение особей посредством запахов, звуков, специфики поведения. Благодаря сложной системе сигнализации у особей и их взаимному обмену информацией возрастает эффективность функционирования группы, направленная на удовлетворение важных жизненных потребностей всех ее членов.

Оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности при совместном существовании получила название *эффект группы*.

Эффект группы проявляется как психофизиологическая реакция отдельной особи на присутствие других особей своего вида, а также в ускорении темпов роста животных, повышении плодовитости и средней продолжительности жизни индивидуума, более быстром образовании условных рефлексов и др. Животные в группе обычно способны поддерживать оптимальную температуру (например, в гнездах, ульях). Вне группы у многих животных не реализуется плодовитость.

Одним из элементов эффекта группы служит *фазовая изменчивость*. Она была впервые обнаружена Б.П. Уваровым в 1921 г. у саранчовых, а позднее – и у жесткокрылых, чешуекрылых и других насекомых. У саранчовых четко различают две формы особей: одиночную и стадную.

Оказалось, что появление этих форм напрямую связано с плотностью популяции саранчи и служит механизмом регуляции ее численности.

Взаимная стимуляция особей при высокой плотности группы вызывает формирование стадной формы, которая характеризуется снижением плодовитости, сокращением смертности в ранних возрастах, увеличением скорости развития и повышением активности.

Вспышки численности грызунов также прекращаются большей частью из-за таких эффектов скученности, как повышенная агрессивность вплоть до каннибализма вследствие усиленной секреции адреналина или вялости, связанной с понижением сахара в крови, из-за нехватки пищи.

Таким образом, положительный эффект группы проявляется до некоторого оптимального уровня плотности популяции. Когда животных становится слишком много, это грозит для всех недостатком ресурсов среды. В этом случае вступают в действие другие механизмы, которые приводят к снижению численности особей в группе путем ее деления, рассредоточения или падения рождаемости. К таким механизмам относятся внутривидовые агрессия, паразитизм и конкуренция.

**Внутривидовая агрессия** – это форма связей, характеризующаяся истреблением особей своего вида.

Среди внутривидовых связей агрессия выполняет ряд важнейших биологических функций, а именно:

- территориальности, т.е. распределения пространства обитания;

- полового отбора, так как наиболее сильный и выносливый самец, побеждая более слабого соперника, получает возможность оставить потомство с более прогрессивным генофондом;

- родительской охраны потомства, что способствует более высокой выживаемости молодых особей с прогрессивным генофондом;

- иерархии, которая обеспечивает большую устойчивость популяции за счет выживания наиболее важных для ее развития особей;

- партнерства, предполагающая скоординированные и организованные проявления агрессии (групповая охота, изгнание по тем или иным причинам сородичей и пр.);

- питания (преимущество более высокой в иерархическом отношении особи при получении пищи). Более того, при угрозе предельного уменьшения численности популяции вследствие сокращения пищевых ресурсов или чрезвычайного увеличения численности популяции по ряду причин особи более старших возрастов обычно поедают особей более младших или наиболее ослабленных (насекомые, грызуны, рыбы и др.).

Внутривидовая агрессия проявляется на всех фазах онтогенеза животных: начиная от оплодотворения сперматозоидами яйцеклетки млекопитающих (в том числе и человека), личиночными и молодыми особями, взрослыми организмами. Внутривидовая агрессия обычно способствует поддержанию численности популяции, ее плотности на занимаемой территории и обеспечивает высокую жизненность сохранившихся особей.

Считается, что основными формами внутривидовой агрессии является конкурентная и территориальная агрессия. Крайней формой внутривидовой агрессии является *канныализм*, или пожирание особей своего вида.

*Конкурентная агрессия* – соперничество между особями одного вида. Соперничество может осуществляться за пищу, полового партнера, жизненное пространство, место для размножения и укрытия и пр.

*Территориальная агрессия* – действия животных, наблюдаемые во время конфликтов между особями одного вида и выражающиеся во взаимных угрозах, нападении, изгнании, бегстве противника.

**Внутривидовой паразитизм** – использование особями одного вида друг друга для удовлетворения своих основных жизненных функций. Он существует в форме экто- (наружного) и эндопаразитизма (внутреннего).

Внутривидовой паразитизм обычно возникал в условиях бедности кормов, при очень низкой плотности популяции как приспособление к сохранению численности популяции, так как встреча самцов и самок в таких условиях происходит довольно редко. Переход к паразитированию у этих видов обычно осуществляется во время личиночных стадий, когда только что выведшиеся мальки и личинки еще держатся одной общей стайкой. При сравнительно высокой плотности молодых особей в таких условиях встречаемость самца и самки происходит часто. Этот и целый ряд других видовых особенностей позволяют виду обеспечить свое воспроизведение и длительное существование в борьбе с другими видами.

**Внутривидовая конкуренция** (за пищу, полового партнера, жизненное пространство, место для размножения и др.) увеличивается как с ростом плотности популяции, так и с увеличением степени специализации вида. Чаще всего конкуренция начинается за пищу, когда в результате размножения при еще достаточном запасе пищи плотность популяции повышается. Недостаточное питание может приводить нередко к снижению плодовитости, пока уменьшение популяции не позволит виду снова размножиться.

У растений также известна внутривидовая конкуренция, которая нередко проявляется в виде *пассивной борьбы*. Пассивная борьба приводит к появлению особых адаптивных черт в строении, обеспечивающих им выгодное размещение своих органов. Это особенно четко было продемонстрировано В.Н. Сукачевым (1945) в опытах при загущенных посевах. Было показано, что не только надземные части растений разместились на разной высоте, но и их корни распределились на разной глубине.

## 1.4.2. Межвидовые отношения популяций

Успешное существование популяции обеспечивается не только специфическими внутривидовыми, но и межвидовыми отношениями популяций разных видов.

Между популяциями можно выделить следующие типы основных взаимодействий (Ю. Одум, 1986):

- *нейтрализм* – ассоциация двух популяций никоим образом не сказывается ни на одной из них;
- *взаимное конкурентное подавление* – обе популяции активно подавляют друг друга;
- *конкуренция из-за ресурсов* – каждая популяция неблагоприятно влияет на другую в условиях ограниченных пищевых ресурсов;
- *аменсализм* – одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния;
- *паразитизм* – одна популяция использует другую для роста и развития с отрицательным эффектом для другой;
- *хищничество* – одна популяция неблагоприятно воздействует на другую в результате прямого нападения, но и зависит от другой;
- *комменсализм* – одна популяция извлекает пользу для себя, не принося вреда другой;
- *протокооперация* – обе популяции получают преимущества от объединения, но их связь непостоянна;
- *мутуализм, симбиоз* – связь популяций благоприятна для роста и выживания обеих, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Анализ взаимодействия популяций двух видов (Ю. Одум, 1986)

№ п/п	Тип взаимодействий	Виды		Общий характер взаимодействий
		1	2	
1	2	3	4	5
1	Нейтрализм	0	0	Ни одна из популяций не оказывает влияния на другую
2	Конкуренция, непосредственное взаимодействие	–	–	Прямое взаимное подавление двух видов
3	Конкуренция, взаимодействие из-за ресурсов	–	–	Опосредованное подавление, возникающее при появлении недостатка в каком-либо факторе, используемом обоими видами
4	Аменсализм	–	0	Одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния
5	Паразитизм	+	–	Популяция паразита (1) обычно меньше, чем популяция хозяина (2)

1	2	3	4	5
6	Хищничество	+	-	Популяция хищника (1) обычно больше, чем популяция добычи (2)
7	Комменсализм	+	0	Популяция комменсала (1) получает выгоду от объединения с популяцией хозяина (2), для которого это объединение безразлично
8	Протокооперация	+	+	Взаимодействие друг с другом полезно для обеих популяций, но не является облигатным
9	Мутуализм	+	+	Облигатное взаимодействие, полезное для обеих популяций

Примечание. «0» – существенное взаимодействие между популяциями отсутствует; «+» – благоприятное действие на рост, выживание или другие характеристики популяции; «-» – ингибирующее действие на рост или другие характеристики популяции.

Как видно из табл. 1.3, типы взаимоотношений 2–4 можно классифицировать как отрицательные взаимодействия, 7–9 – положительные, 5 и 6 попадают под обе эти категории.

Следует отметить, что отрицательные взаимодействия не являются синонимом вредных. Они снижают скорость роста популяции, подвергающейся воздействию, но с точки зрения выживания популяции на протяжении длительного времени или ее эволюции, этот эффект не обязательно вреден.

Наоборот, отрицательные взаимодействия в ряде случаев могут ускорять естественный отбор, приводя к возникновению и закреплению качественно новой, прогрессивной адаптации. Например, хищники и паразиты часто весьма полезны для сохранения популяций, не имеющих механизмов саморегуляции численности, так как сокращая численность такой популяции, они предотвращают перенаселение, следствием которого могло бы быть ее самоуничтожение.

К наиболее значимым отрицательным взаимодействиям относятся конкуренция, хищничество и паразитизм.

**Межвидовая конкуренция** – это любое взаимодействие между двумя или более популяциями различных видов, которое отрицательно сказывается на их росте и выживании.

Конкурентное взаимоотношение может касаться занимаемого и перспективного пространства (популяционного ареала), пищи и необходимых биогенных веществ, продуктов экс-

креции (маркеры территории, привлечения особей другого пола и пр.), зависимости от прессинга хищников, устойчивости к факторам среды.

Межвидовая конкуренция независимо от того, что лежит в ее основе, может привести либо к взаимному приспособлению двух видов к потребностям друг друга, либо к тому, что один вид будет вынужден переселиться в другое место, перейти к использованию неконкурентноспособной пищи или исчезнуть.

Выделяют следующие типы межвидовых конкурентных отношений:

- *несовершенная конкуренция*, при которой межвидовые взаимодействия слабее внутривидовых. Межвидовая конкуренция служит в определенной мере лимитирующим фактором, однако не приводит к полной элиминации одного из видов;

- *совершенная конкуренция*, при которой с увеличением численности одного из видов другой медленно, но неуклонно вытесняется из занимаемой им ниши или элиминирует;

- *сверхсовершенная конкуренция*, при которой подавляющее влияние одного вида выражено очень сильно и проявляется немедленно.

Необходимо отметить, что близкородственные организмы, ведущие сходный образ жизни, обычно не обитают в одних и тех же местах. Если они и живут в одном месте, то потребляют разную пищу, активны в разное время суток или обладают еще какими-либо различиями, благодаря которым каждый из них занимает соответствующую экологическую нишу.

**Экологическая ниша** – место вида в природе, включающее не только положение вида в пространстве, но и его функциональную роль в сообществе, положение относительно абиотических условий существования.

Понятие экологической ниши относится не только к физическому пространству, занимаемому организмом, но также к его месту в сообществе, определяемому, в частности, источником энергии и периодом активности.

Если организмы занимают разные экологические ниши, то обычно они не вступают в конкурентные отношения. Вместе с тем, в каждой экосистеме имеются виды, которые претендуют на одну и ту же нишу или ее элементы (пищу, укрытие и др.). В таком случае конкуренция неизбежна. В связи с этим эволюционно сложилось, что виды со сходными требованиями к среде не могут длительно сосуществовать совместно в одной

экологической нише. Это так называемое *правило конкурентного исключения Гаузе*, которое трактуется следующим образом: если два вида со сходными требованиями к среде (питание, поведение, места размножения и т.п.) вступают в конкурентные отношения, то один из них должен погибнуть либо изменить свой образ жизни и занять новую экологическую нишу. Организм (вид) может менять экологическую нишу на протяжении всей жизни. Наиболее яркий пример в этом отношении – насекомые. Экологическая ниша личинок майского жука связана с почвенной средой, а взрослого насекомого – с наземной.

Межвидовая конкуренция приводит к сужению экологической ниши, не дает проявиться ее потенциалам. Внутривидовая конкуренция, напротив, способствует расширению экологической ниши, так как в связи с возрастанием численности вида необходимо начать использовать дополнительные корма, осваивать новые местообитания, вступать в новые биоценотические связи. Расширяется популяционный ареал.

Каждая популяция занимает свою экологическую нишу, множество которых формирует *сообщество* (биоценоз, экосистему). В природном сформированном сообществе обычно все ниши заняты. В такие сообщества вероятность внедрения новых видов (популяций) крайне мала. Все ниши обычно освоены теми организмами, которые характерны для данного региона. Но если организм (вид) заносится извне случайно или преднамеренно, то он может найти для себя свободную нишу, на которую не было ранее претендентов. В этом случае неизбежна вспышка численности вида-пришельца, поскольку он попадает в крайне благоприятные условия, где достаточно пищевых ресурсов, пространства, отсутствуют естественные враги (хищники, паразиты или другие организмы, для которых он служит пищевым ресурсом). Поэтому, прежде чем решать вопрос о вселении того или иного вида в аборигенную среду, следует провести анализ его конкурентной способности по отношению к аборигенным видам и создать модель его роста и развития.

**Хищничество** – умерщвление организмов одного вида организмами другого вида с целью использования их в пищу. Является одной из основных форм межпопуляционных связей в биоценозе.

Хотя хищничество и паразитизм относятся к отрицательным формам межвидовых отношений, это не значит, что при их отсутствии популяции разных видов были бы в лучшем со-



стоянии. Как уже говорилось выше, хищники и паразиты имеют важное значение для поддержания определенной плотности и численности популяции. Известно, что максимальный лавинообразный рост численности отмечается именно в тех случаях, когда вид интродуцируется на новую территорию, где имеются нетронутые ресурсы и отсутствуют отрицательные взаимодействия в форме хищничества.

Волны флуктуаций хищника и жертвы следуют друг за другом с постоянным сдвигом по фазе, а в среднем численность как хищника, так и жертвы остается постоянной. Однако, если популяция жертвы обитает в среде, не предоставляющей надежных укрытий или убежищ для размножения, хищник рано или поздно уничтожает популяцию жертвы и после этого неизбежно вымирает сам.

В. Вольтерра (1931), изучая отношения хищник – жертва, вывел следующие три закона:

- *закон периодического цикла* – процесс уничтожения жертвы хищником нередко приводит к периодическим колебаниям численности популяций обоих видов, зависящим только от скорости роста популяций хищника и жертвы и от исходного соотношения их численности;

- *закон сохранения средних величин* – средняя численность популяции для каждого вида постоянна, независимо от начального уровня, при условии, что специфические скорости увеличения численности популяций, а также эффективность хищничества постоянны;

- *закон нарушения средних величин* – при сокращении популяций обоих видов пропорционально их численности средняя численность популяции жертвы растет, а популяции хищников – падает.

**Паразитизм** – форма взаимоотношений разных организмов, один из которых является паразитом, а другой – хозяином.

*Паразит* – живой организм, живущий на или внутри другого организма и питающийся за счет живой субстанции хозяина.

По месту обитания выделяют *эктопаразитов*, живущих на теле хозяина, и *эндопаразитов*, обитающих внутри тела хозяина.

По требованиям к условиям существования различают паразитов *облигатных* (постоянных), которые не способны жить и размножаться вне тела своего хозяина, и *факультативных* (временных) – способных жить и размножаться самостоятельно, независимо от вида хозяина, но связанных с ним в определенной фазе развития.

Характерной особенностью паразитов является редукция у них некоторых органов (пищеварительной системы, органов чувств, конечностей у животных; корней, стебля, листьев или даже всех вегетативных органов у растений) или, наоборот, усложнение других (половой системы, органов прикрепления). С развитием паразитических свойств возрастает специализация паразита, сужается круг его хозяев.

В условиях Беларуси на многих видах травянистых растений и кустарниках паразитирует повилика европейская; на корнях древесных и кустарниковых пород (ольхи, лещины, клена, липы и др.) – Петров крест; на многих сельскохозяйственных культурах (подсолнечнике, конопле, табаке и др.) – заразиха.

*Полупаразиты* растений способны к самостоятельному фотосинтезу, однако растворы минеральных солей они берут из ксилемного сока растения-хозяина (омела белая).

Среди многообразных форм паразитических отношений есть и такие, при которых гибель хозяина – обязательное следствие пребывания в нем паразита. Речь идет о *паразитоидах* – организмах, ведущих паразитический образ жизни только на стадии личинки (многие насекомые). Гибель хозяина обусловлена малым запасом в нем пищи, которой едва хватает на развитие нескольких личинок паразитоидов.

Экологическая роль хищничества, паразитизма и других вариантов пищевых связей в сообществах сводится к тому, что, последовательно питаясь друг другом, живые организмы создают условия для общего круговорота веществ, при этом происходит взаимная регуляция численности видов. На такой взаимозависимости основаны методы биологической борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур.

Отрицательные воздействия популяций друг на друга со временем становятся менее заметными, если экосистема достаточно стабильна и ее пространственная структура обеспечивает возможность взаимного приспособления этих популяций. Вырабатывается своеобразный экологический гомеостаз, при котором каждая из популяций подавляется другой в такой степени, что становится возможным их сосуществование при более стабильном равновесии. Более того, при длительном контакте паразита и хищника с хозяином и жертвой влияние на последних весьма умеренно, нейтрально или благоприятно для популяции.

Однако чаще всего взаимная адаптация в новых ассоциациях не возникает, отрицательная реакция в той или иной форме становится необратимой и одна из популяций исчезает. Именно новые паразиты и хищники оказывают наиболее сильное повреждающее действие на популяции хозяев и жертв.

Большинство эпидемий, эпизоотий и эпитофий как раз и вызываются внезапным или быстрым вселением организма с потенциально высокой скоростью роста в экосистему, в которой механизмы регуляции численности этого организма отсутствуют или малоэффективны, а также резкими или очень сильными изменениями окружающей среды, приводящими к нарушению способности системы к саморегуляции.

С экологической точки зрения хищничество и паразитизм очень близки. Однако между их крайними формами имеются существенные различия. С одной стороны, паразитические или патогенные организмы всегда обладают более высоким биотическим потенциалом по сравнению с хищниками. Их строение, обмен веществ, выбор хозяина и жизненные циклы часто более специализированы, что связано со спецификой их среды обитания и проблемой перехода от одного хозяина к другому. Например, волк одинаково успешно съест зайца или овцу, а свиной солитер может существовать только в пищеварительной системе свиньи. С другой стороны, высокая специализация паразитов позволяет использовать их в борьбе с другими вредными для хозяйственной деятельности человека организмами, например насекомыми. Тогда как использование крупных неспециализированных хищников с этой же целью обычно приносит обратный результат. Например, мангусты, которых завезли на острова Карибского моря для уничтожения крыс на полях сахарного тростника, переключились на более легкую добычу (гнездящихся на земле птиц) и резко снизили их численность, тогда как численность крыс осталась практически неизменной.

Взаимодействия двух популяций, оказывающие положительное действие и на одну и на другую, также обычны в природе и имеют важное значение.

Наиболее простой тип положительных взаимодействий – *комменсализм*. Он свойственен, в частности, взаимоотношениям между прикрепленными организмами и подвижными. Классический пример комменсализма – актинидия, живущая на раковине краба-отшельника. Также у морских животных известны 13 видов рыб-комменсалов, моллюски, многощетин-

ковые черви, полихеты и крабы, которые живут в норках крупных морских червей и роющих креветок. Эти комменсалы питаются остатками пищи или экскрементами хозяина, который не испытывает особых преимуществ от их присутствия. Некоторые комменсалы в качестве хозяина используют один определенный вид, другие могут использовать разные виды организмов.

Однако чистый комменсализм – явление достаточно редкое. Чаще всего оба организма получают какие-либо преимущества от объединения или иного взаимодействия друг с другом. В этом случае имеет место *протокооперация*. Естественным развитием протокооперации является *мутуализм* – форма совместного существования организмов, при которой партнеры или один из них не могут (не может) существовать друг без друга. Классическими примерами мутуалистических взаимоотношений являются сожительство клубеньковых бактерий рода ризобиум с корнями бобовых растений, микориза грибов и лишайников. Есть примеры мутуализма и среди животных. В пищеварительном тракте термитов, тараканов, жвачных животных живут бактерии, инфузории и одноклеточные жгутиковые, которые помогают организму-хозяину переваривать растительную пищу, вырабатывая целлюлозолитические ферменты. Без них эти животные усваивать поглощаемую целлюлозу просто не способны.

Такие взаимоотношения обычно развиваются между весьма несхожими организмами с сильно различающимися потребностями, так как в противном случае неизбежно развились бы конкурентные отношения.

При возникновении *симбиотических* отношений один организм становится полностью зависим от другого в отношении пищи, а существование последнего зависит от обмена веществ и других важных жизненных функций первого. Жизненный цикл симбионтов точно скоординирован с жизнедеятельностью хозяина.

Также известны примеры симбиотической связи, осуществляющейся вне тела другого организма. Например, тропические муравьи-листорезы разводят в своих гнездах целые грибные плантации. Муравьи удобряют, растят и собирают урожай грибов, в свою очередь грибы базидиомицеты способствуют скорейшему разложению листовой подстилки в гнезде, служащей пищей для муравьев, т.е. в этом случае происходит *экто-симбиотическое* взаимодействие двух организмов. Но более

важно то, что с точки зрения биохимического аспекта этих взаимоотношений здесь произошло объединение углеродного и азотного обмена двух организмов. Гриб является поставщиком ферментов, служащих для разрушения клетчатки, которые отсутствуют у муравьев. В экскрементах муравьев содержатся протеолитические фермы, отсутствующие у гриба, и муравьи являются поставщиками ферментного аппарата для разрушения растительного белка.

Таким образом, межвидовые отношения также эволюционно направлены на поддержание определенного равновесного состояния популяции, что в свою очередь обеспечивает устойчивость сообщества (экосистемы, биоценоза).

### 1.4.3. Экологические стратегии популяций

Все свойства особей в популяции в конечном счете направлены на повышение вероятности выживания и оставление потомства. Среди всех приспособлений и особенностей популяции можно выделить комплекс основных признаков, который называется экологической стратегией или стратегией выживания.

**Экологическая стратегия** – это общая характеристика роста и размножения данного вида, включающая темп роста особей, период достижения ими половой зрелости, периодичность размножения, предельный возраст, плодовитость и др.

Экологические стратегии весьма разнообразны, между ними существует множество переходов. Однако все многообразие экологических стратегий заключено между двумя типами эволюционного отбора, которые обозначаются константами логистического уравнения популяционной динамики Ферхюльста:

- *r-стратегия* определяется отбором, направленным, прежде всего, на повышение скорости роста популяции и, следовательно, таких ее качеств, как высокая плодовитость, ранняя половозрелость, короткий жизненный цикл, способность быстро распространяться в пространстве и пережить неблагоприятное время в покоящейся стадии. К *r*-видам относятся бактерии, все однолетние сорные растения, многолетние пионерные виды (иван-чай, многие злаки, полыни, эфемерные растения, ивы, береза белая и каменная, осина, лиственница), которые первыми появляются на нарушенных землях и захватывают

свободные экологические ниши. Эти виды очень быстро осваивают новые места обитания, но обычно также скоро – в течение жизни одного-двух поколений – сменяются *K*-видами;

- *K-стратегия* направлена на повышение выживаемости в условиях уже стабилизировавшейся численности. Это отбор на конкурентоспособность, повышение защищенности от хищников и паразитов, повышение вероятности выживаемости каждого потомка, на развитие более совершенных механизмов внутривидовой численности (А.М. Гиляров, 1990).

Основные признаки *K*-видов – это низкая плодовитость, значительная продолжительность жизни, крупные размеры особей и семян, мощная корневая система, высокая конкурентоспособность, устойчивость к условиям среды на занимаемой территории, высокая специализации образа жизни. Скорость размножения *K*-видов с приближением к предельной плотности популяции падает, но может быстро увеличиваться при низкой плотности; существует забота о потомках. *K*-виды часто становятся доминантными в биоценозе. К ним относятся все хищники, человек, реликтовые насекомые (реликтовый усач, жук-олень, жухелицы и др.), одиночная фаза саранчи, почти все деревья и кустарники.

Следует иметь в виду, что одну и ту же среду обитания разные популяции могут использовать по-разному, поэтому в одном и том же ареале могут сосуществовать виды с *r*- и *K*-стратегиями. Ни один из видов не подвержен только одному виду стратегии.

В целом же *r*- и *K*-стратегии объясняют связь между разнокачественными характеристиками популяции и условиями среды.

В нестабильной или непредсказуемой окружающей среде преобладает *r*-стратегия, так как в этом случае основную роль играет способность к быстрому размножению и распространению, а адаптационные механизмы, позволяющие конкурировать с другими организмами из-за быстро изменяющихся условий существования, не столь важны.

Если среда более-менее стабильна, в ней преобладают *K*-виды, так как в этом случае важна способность успешно конкурировать с другими организмами в условиях ограниченных ресурсов (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Сравнительный анализ *r*- и *K*-стратегий

Характеристика	<i>r</i> -стратегия	<i>K</i> -стратегия
Численность популяции	Очень изменчива, может быть больше <i>K</i>	Обычно близка к <i>K</i>
Оптимальный тип местообитания или климата	Изменчивый и (или) непредсказуемый	Достаточно стабильный, предсказуемый
Смертность	Обычно катастрофическая	Низкая
Размер популяции	Изменчивый во времени, неравновесный	Относительно постоянный, равновесный
Конкуренция	Слабая	Обычно острая
Онтогенетические особенности	Быстрое развитие, раннее размножение, однократное размножение, небольшие размеры, высокая плодовитость, короткая жизнь	Относительно медленное развитие, позднее размножение, крупные размеры, многократное размножение, низкая плодовитость, жизнь больше 1 года
Способность к расселению	Быстрое и широкое расселение	Медленное расселение

Каждый организм испытывает на себе комбинацию *r*- и *K*-стратегий (*r*- и *K*-отбора), но все-таки все оставляемые отбором особи должны обладать такой плодовитостью и способностью выжить при наличии конкуренции и пресса хищников, чтобы сохранилась определенная численность популяции для ее существования.

Конкуренция *r*- и *K*-стратегий позволяет ранжировать виды по величинам *r* и *K* в любой группе организмов, а следовательно, разрабатывать практические механизмы управления численностью, плодовитостью, ростом расселения популяций.

## 1.5. Синэкология сообществ

**Синэкология** – раздел экологии, исследующий взаимоотношения популяций, сообществ и экосистем со средой.

Основными объектами изучения синэкологии являются биотические сообщества, которые описываются такими основными понятиями, как биотоп, биоценоз (экосистема), биомасса и продукция.

Концепция сообщества относится к числу наиболее важных понятий в экологической теории и практике. С теоретической точки зрения это понятие определяет факт образования различными организмами системы. Биотическое сообщество может достаточно часто менять свой внешний вид (летний цветущий и тот же осенний скошенный луг, весенний и зимний сад). Однако любое сообщество в обязательном порядке обладает четкими структурой и функциями, которые являются уникальными атрибутами именно данной группы организмов.

С точки зрения прикладной экологии концепция сообщества имеет первостепенное значение при разработке природоохранных мероприятий, мероприятий по управлению окружающей средой. Знание законов функционирования биотических сообществ позволяет более эффективно и безопасно для окружающей среды воздействовать на сообщество организмов при минимальном отрицательном воздействии на отдельные виды: если необходимо контролировать какой-либо отдельный вид, то гораздо дешевле и экологически безопаснее модифицировать в ту или иную сторону все сообщество, чем воздействовать на отдельный вид. Например, в 1980-е гг. в Китае с целью сохранения урожая зерновых культур были уничтожены практически все популяции воробьев. Буквально на следующий сезон урожай этих же зерновых культур погиб от вредителей и болезней, кроме того пострадали сады, парки, леса, резко снизилась численность хищных птиц, увеличилось количество зерноядных птиц и грызунов.

В современном понимании *биотическое сообщество* – это любая совокупность популяций, населяющая определенную территорию или биотоп, функционирующая как единое целое благодаря взаимосвязанным метаболическим процессам. Биотическое сообщество обычно в общепринятой научной трактовке является синонимом биоценоза.

Сообщества обладают функциональным единством с характерной для данного биоценоза структурой трофических связей и энергетического обмена, имеют определенное композиционное единство, что обеспечивает возможность сосуществования определенных видов. Однако виды могут в значительной степени замещать друг друга во времени и пространстве, поэтому функционально сходные сообщества имеют различный видовой состав, что является их характерной чертой.



Биотические сообщества представляют собой живую часть экосистемы. Термин «биотическое сообщество» следует понимать широко и применять для обозначения естественных группировок различного размера – от биоты крошечного лежащего камня до биоты океана или тайги.

Выделяют *основные сообщества*, характеризующиеся большими размерами и завершенностью организации, что обеспечивает им относительную независимость. К ним относятся биотическое сообщество океана, джунглей, тайги, горной цепи и пр. Они нуждаются только в притоке извне солнечной энергии и достаточно устойчивы по отношению к изменениям в соседних сообществах. *Мелкие сообщества* весьма зависимы от изменений в соседних сообществах.

**Структура и видовое разнообразие в сообществах.** *Биотоп* – естественное, относительно однородное жизненное пространство определенного биоценоза. Формируется соответствующими абиотическими факторами среды, обеспечивая комфортное существование популяциям тех или иных организмов.

*Биоценоз* – биологическая система, представляющая собой совокупность популяций различных видов растений, животных и микроорганизмов, населяющих определенный биотоп. Совокупность растений, входящих в биоценоз, называют *фитоценозом*, а совокупность животных – *зооценозом*.

Биотоп + биоценоз = экосистема (биогеоценоз).

Иными словами биоценоз вместе с биотопом образуют диалектическое единство экосистемы (биогеоценоза). Биоценоз наряду с биотопом (эктопом) является фундаментальной единицей экосистемы.

*Биогеоценоз* – совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий, растительности, животного мира и мира микроорганизмов), имеющая свою, особую специфику взаимодействий этих составляющих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы, представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии (по В.Н. Сукачеву).

*Экосистема* – это любое сообщество живых существ и их среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами (по Н.Ф. Реймерсу).

Часто термин «экосистема» заменяется и понимается как «биогеоценоз». Однако в современном понимании биогеоценоз является элементарным рангом экосистемы. Совокупность биогеоценозов земного шара образует биогеоценотический покров планеты, или биосферу (эти вопросы более подробно будут рассмотрены в гл. 2 и 3).

### **1.5.1. Структура и видовой состав биотического сообщества**

При изучении структуры и видового состава биотических сообществ (биоценоза) выясняется, что они определяются прежде всего сочетанием растений и животных с разными способами жизни.

Сообщество состоит из многих видов, которым присущи разные типы популяционных флуктуаций и взаимоотношений друг с другом.

Различные варианты внутренней организации функционирующих (живых) сообществ создают структурное разнообразие каждого сообщества, к которому относится:

- характер стратификации (вертикальная ярусность);
- зональности (горизонтальное распределение);
- активности (периодичности);
- пищевых связей (сетевая структура пищевых связей);
- размножения (связи потомков с родителями, клоны живых организмов);
- групповых отношений;
- совместной деятельности, определяемый конкуренцией, антибиозом и т.д.;
- характер стохастических связей, зависящий от случайных воздействий.

#### **1.5.1.1. Структура сообщества**

Различают пространственную, трофическую и экологическую структуру биоценоза.

**Пространственная структура** биоценоза характеризуется вертикальным или горизонтальным распределением живых организмов.

Заселение организмами того или иного биотопа определяется его требованиями к экологическим факторам, прежде всего, особенностями атмосферы, почвы, вод. В ходе длительного эволюционного развития, приспособляясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы так разместились в биоценозе, что практически не мешают друг другу, их распределение носит ярусный характер.

**Ярусность** – это вертикальное расслоение биоценозов на равновысокие структурные части. Особенно четко она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Фитоценоз приобретает ярусный характер при наличии в нем растений, которые различаются по высоте. Растения, особенно их органы питания (листья, окончания корней), располагаясь на разной высоте или глубине, легко уживаются в сообществе, что способствует увеличению числа организмов на единицу площади, ослаблению конкуренции между ними, более полному и разностороннему использованию условий среды.

Ярусы определяют структуру и сложение фитоценоза. При малой ярусности растительное сообщество называют простым, при большой – сложным. Растения каждого яруса и обусловленный ими микроклимат создают определенную среду для специфических животных, что приводит к возникновению группировок растений и животных – популяций тесно связанных между собой организмов.

Таким образом, ярусы в биоценозе различаются не только высотой, но и составом организмов, их экологией и той ролью, которую они играют в жизни всего сообщества. В одном сообществе одни и те же виды в силу возрастных различий особей или частичного угнетения могут находиться в определенный период в разных ярусах. Например, всходы деревьев, пока они маленькие, располагаются в нижних ярусах леса. По мере роста при благоприятных условиях они займут свое место в верхнем ярусе.

В растительных сообществах животные также приурочены преимущественно к определенному ярусу. Однако следует отметить, что большинство животных могут перемещаться из одного яруса в другой.

В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает и определенную структуру в горизонтальном на-

правлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название *мозаичности*. Она свойственна практически всем фитоценозам.

Обусловлена мозаичность такими причинами, как неоднородность микрорельефа почв, средообразующим влиянием растений, их биологическими особенностями.

Считается, что распределение организмов в пространстве и их взаимодействие с внешней средой определяют структурный тип сообщества.

**Трофическая структура** биоценоза образуется из совокупности трофических связей и потребностей организмов его образующих.

**Экологическая структура** биоценоза складывается из экологических групп организмов, связанных прежде всего сходным типом питания. Макроскопическая характеристика биоценоза определяется его экологической, видовой и пространственной структурами, которая дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также предвидеть последствия изменений, вызванных влиянием антропогенных и иных факторов.

Важнейшим признаком структурной характеристики биоценозов является наличие границ сообществ. Границы сообщества редко бывают четкими. Как правило, биоценозы постепенно переходят один в другой, при этом образуются обширные пограничные, или переходные, зоны, отличающиеся особыми условиями, иными, чем в соседствующих биоценозах. Здесь как бы переплетаются типичные условия соседствующих биоценозов. В переходной зоне произрастают растения, характерные для обоих биоценозов. Обилие более разнообразной по видовому составу растительности привлекает сюда и большее количество видов животных, поэтому пограничная зона обычно более богата жизнью, чем каждый из смежных биоценозов. Пограничная зона нередко представляет собой особое местообитание со своими особыми специализированными видами. Переходную зону называют экотон.

**Экотон** – зона напряжения, переходная полоса между физиономически отличными сообществами. Флора и фауна экотонных существенно богаче и в видовом и в численном отношении соседних биоценозов, так как в них в той или иной степени происходит смешение и сгущение видов. В этом состоит проявление краевого эффекта: на стыках биоценозов увеличивается число видов и особей в них.

### 1.5.1.2. Видовой состав сообщества

Каждый конкретный биоценоз характеризуется строго определенным видовым составом. Везде, где условия абиотической среды приближаются к оптимальным для жизни, возникают богатые видами сообщества, например тропические леса, коралловые рифы, долины рек в аридных районах и др. Видовой состав биоценозов зависит как от длительности их существования, так и истории каждого биоценоза. Молодые, формирующиеся сообщества обычно имеют меньший набор видов, чем давно сложившиеся, зрелые. Биоценозы, созданные человеком (огороды, сады, поля и т.д.), обычно беднее видами по сравнению со сходными с ними природными системами (лесными, луговыми, степными). Однако даже самые обедненные биоценозы включают несколько десятков видов организмов, которые принадлежат к разным систематическим и экологическим группам. При этом одни виды биоценоза могут быть представлены многочисленными популяциями, а другие – малочисленными. Отсюда следует, что в любом биоценозе можно выделить один или несколько видов, определяющих его облик. Такие виды называют *характерными*, и они определяют видовое название типа биоценоза. Однако подобные случаи достаточно редки. Лишь немногие виды обладают абсолютной связью с одним биоценозом. Обычно они могут встречаться и в других биоценозах, но в ограниченном количестве.

Существует ряд понятий, которые характеризуют как отдельные виды в биоценозе, так и биоценоз в целом.

**Обилие** – число особей на единицу площади или объема биоценоза. Этот показатель может изменяться во времени (сезонные, годовые и случайные колебания численности) и в пространстве (переход от одного биоценоза к другому). Принято выделять пять степеней обилия видов в биоценозе в баллах:

- 0 – полное отсутствие;
- 1 – встречаются редко и рассеянно;
- 2 – встречаются не редко;
- 3 – встречаются обильно;
- 4 – встречаются очень обильно.

**Частота** – отношение числа особей одного вида к общей численности видов в биоценозе, выраженное в процентах.

**Постоянство** ( $c$ , %) – степень присутствия вида в биоценозе:

$$c = (p \cdot 100) : P,$$

где  $p$  – число выборок, содержащих изучаемый вид;  $P$  – общее число взятых выборок.

В зависимости от значения  $c$  различают следующие категории видов в биоценозе:

- *постоянные* – встречаются более чем в 50% выборок;
- *добавочные* – в 25–50% выборок;
- *случайные* – менее чем в 25% выборок.

**Верность** – степень привязанности вида к биоценозу. Этот показатель не поддается количественной оценке и определяется прежде всего степенью комфортности условий в биоценозе для каждого конкретного вида. Различают следующие категории видов:

- *характерные (эуценные)* – свойственные исключительно одному биоценозу или, что случается гораздо чаще, представлены в нем более обильно, чем в других биоценозах. Они обладают низкой экологической валентностью;

- *преферентные* – встречающиеся в нескольких смежных биоценозах, но предпочитающие один из них;

- *чуждые (ксеноценные)* – случайно попавшие в силу каких-либо причин в сообщество, к которому они не принадлежат;

- *убиквисты (индифферентные)* – виды, способные существовать с равным успехом в нескольких биоценозах. Они обладают крайне высокой экологической валентностью.

Обычно характерных видов в биоценозе намного меньше, чем преферентных или чуждых, но их численность намного превосходит последние.

**Доминирование** – способность некоторых видов занимать главенствующее положение и оказывать преобладающее влияние на среду обитания других видов в биоценозе. Такие виды называются *экологическими доминантами*.

Степень доминирования того или иного вида в биоценозе выражается *показателем доминирования  $c$* , который отражает значение каждого вида для сообщества в целом:

$$c = \sum(n_i / N)^2,$$

где  $n_i$  – оценка значительности каждого вида (число особей, биомасса, продукция и т.п.);  $N$  – общая оценка значительности.

Доминантные виды господствуют в сообществе и составляют *видовое ядро* любого биоценоза. Они определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере влияют на физические свойства местообитания. Доминантные виды на своем трофическом уровне обладают наибольшей продуктивностью.

Однако не все доминантные виды одинаково влияют на биоценоз. Среди них выделяются те, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду для всего сообщества и без которых существование большинства других видов в нем невозможно. Это *виды-эдификаторы*. Удаление вида-эдификатора из биоценоза обычно вызывает изменение физической среды, в первую очередь микроклимата биотопа.

Виды-эдификаторы встречаются практически в любом биоценозе. В некоторых случаях эдификаторами являются и животные. На территориях, занятых колониями сурков, именно их роющая деятельность определяет большей частью характер ландшафта, микроклимат и условия произрастания растений.

Виды, живущие за счет доминантов, получили название *предоминантов*. К примеру, в сосновом лесу таковыми являются кормящиеся на дереве насекомые, белки, мышевидные грызуны.

В состав биоценоза кроме относительно небольшого числа видов-доминантов входит, как правило, значительное количество малочисленных и даже редких форм. Между численностью видов-доминантов и общим видовым составом сообщества имеется определенная связь. Со снижением числа видов обычно обилие отдельных форм резко повышается, ослабевают биоценотические связи, наиболее конкурентоспособные виды получают возможность беспрепятственно размножаться. Чем специфичнее условия среды, тем беднее видовой состав сообщества и выше численность отдельных видов.

Таким образом, все виды, слагающие биоценоз, в определенной степени связаны с доминирующими видами и видами-эдификаторами. Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений-эдификаторов или от других элементов биоценоза, создаются своеобразные структурные единицы биоценоза – *консорции*. В роли центрального вида в консорции обычно выступает *эдификатор* – основной вид, который определяет особенности биоценоза. Популяции остальных видов консорции образуют ее ядро, за счет которого существу-

ют виды, разрушающие органическое вещество, создаваемое автотрофами. Популяции автотрофного растения, например березы, на базе которого формируется консорция, называют *детерминантом*, а виды, объединенные вокруг него, – *консорнтами*.

**Разнообразие** – видовое богатство биоценоза. Этот показатель представляет собой цифровое выражение *первого биоценологического принципа Тинеманна*: при благоприятных условиях в биоценозе наблюдается большее количество видов, каждый из которых представлен небольшим числом особей. Показатель разнообразия при этом высокий. При неблагоприятных условиях среды видов немного, но все они имеют высокую численность. В этом случае показатель разнообразия низкий.

Различают понятия «видовое богатство» и «видовое разнообразие» биоценозов.

*Видовое богатство* – это общий набор видов сообщества, который выражается списками представителей разных групп организмов.

*Видовое разнообразие* – это показатель, отражающий не только качественный состав биоценоза, но и количественные взаимоотношения видов.

Видовое разнообразие складывается из двух компонентов:

- видового богатства, которое характеризуется общим числом имеющихся видов:

$$\xi = \frac{n}{N}, \quad \text{где } N = \sum_{i=1}^n x_i;$$

- видовой выравненности, основанной на относительном обилии или другом показателе значимости вида и положении его в структуре доминирования.

Как известно, видовое разнообразие увеличивается при возрастании размеров территории и при продвижении от высоких широт к экватору, т.е. при существовании в комфортных условиях среды. В сообществах же, подвергающихся стрессовым воздействиям, видовое разнообразие невелико. Кроме того, оно может снижаться в результате конкуренции в старых сообществах, существующих в стабильной физической среде.

Существует два типа видового разнообразия:

- *структурное*;
- *генетическое*, т.е. поддержание генотипических гетерозиготности (присутствие в хромосоме доминантных и рецессивных признаков), полиморфизма и другой изменчивости, кото-



рая вызвана адаптационной необходимостью в природных популяциях.

Для изучения видового разнообразия принято строить *кривую относительного доминирования – разнообразия*, введенную в рассмотрение Р. Уиттекером (1965) (рис. 1.7). На кривой по оси  $x$  (абсцисс) откладывается ранжированная последовательность номеров видов  $i$  от наиболее значимого до наименее значимого, а по оси  $y$  (ординат) – величина показателя зависимости  $p_i$  соответствующего вида, обычно в логарифмическом масштабе.

Выделяют три основных типа поведения кривой относительного доминирования, соответствующих различным типам взаимодействий между видами в сообществе.

Кривая 1 отвечает ситуации, когда члены сообщества находятся в сильной зависимости от некоторого ресурса, распределенного вдоль одномерного континуума, причем имеет место случайное, но без пересечений распределение частных ниш видов вдоль координатной оси данного ресурса (модель *разломанного стержня* Р. Мак-Артура). Показатель значимости в этом случае ведет себя в соответствии с формулой

$$p_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-(i-1)} \frac{1}{n-(j-1)}.$$

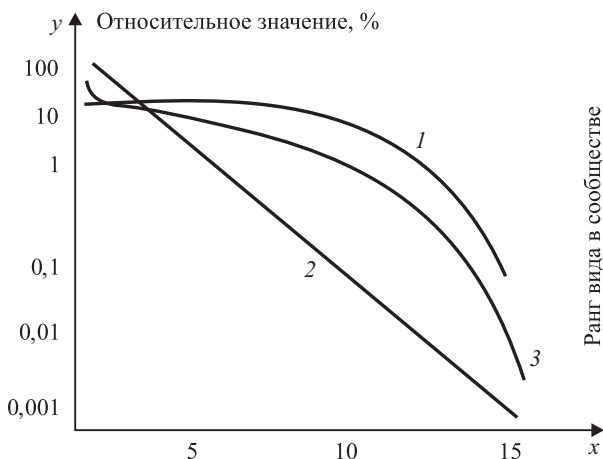


Рис. 1.7. Кривые относительного доминирования – разнообразия

Подобный тип рангового распределения наиболее часто встречается в немногочисленных по числу видов группировках таксономически близких животных в четко ограниченных однородных биоценозах (например, группировка птиц, гнездящихся на ограниченном участке леса). Также это справедливо для высших животных с активной конкуренцией, устойчивой численностью и высокой продолжительностью жизни.

Кривая 2, представляющая собой прямую, изображает случай так называемого *геометрического распределения* и соответствует следующей схеме относительного доминирования: первый вид занимает половину доступного пространства существующих экологических ниш, второй – половину оставшегося пространства (25% исходного) и т.д. В более общем случае существует фиксированное число  $c$  ( $0 \leq c \leq 1$ ):

$$p_1 = cp;$$

$$p_2 = c(p - p_1) = c(1 - c)p;$$

$$p_3 = c(p - p_1 - p_2) = c(1 - c)^2 p;$$

$$p_i = c(1 - c)^{i-1} p,$$

$$\text{где } p = \sum_{i=1}^n p_i,$$

или в логарифмическом виде

$$\log p_i = (i - 1)\log(1 - c) + \log c + \log p,$$

откуда видно, что величина  $p_i$  как функция ранга  $i$  изображается на полулогарифмической шкале прямой линией с угловым коэффициентом  $\log(1 - c)$ .

Геометрическое распределение относительного доминирования обнаруживается в группировках, состоящих из небольшого числа видов, которые находятся в жесткой конкуренции за ограниченные ресурсы, нередко в суровых условиях внешней среды.

Получаемую круто падающую прямую 2 можно рассматривать в качестве альтернативы для относительно пологой кривой 1, соответствующей распределению Мак-Артура.

Эти две кривые представляют крайние случаи истории биоценоза. Обычно же распределение видов в природе имеет вид промежуточной S-образной кривой 3, что указывает на более сложный характер дифференциации и перекрывания ниш.

Распределение, изображаемое кривой 3, называется *логнормальным*. Это связано с тем, что гистограмма распределения логарифмов  $\log p_i$  по октавам (диапазонам значений  $p_i$ , отличающихся на границах в 2 раза) приближается по форме к нормальному распределению (рис. 1.8).

Значения  $n_j$  (число точек, попавших в данную октаву  $j$ ) для различных октав с номерами  $j = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$  (где 0 – октава с наибольшим числом точек) могут быть аппроксимированы выражением

$$n_j = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{j}{\sigma}\right)^2\right),$$

где  $\sigma$  – мера рассеяния относительно модального класса  $j = 0$ , которая для большинства анализируемых видовых группировок находится в пределах  $1 \leq \sigma \leq 5$ .

Логнормальное распределение относительного доминирования характерно для сообществ с высокой *видовой насыщенностью*, в условиях, когда успех того или иного вида определяется большим числом относительно независимых и однородных по силе влияния факторов. В этом случае экологические ниши многомерны и перекрываются.

В общем случае расположения видов по степени значимости кривая доминирования не только точно отражает богатство и относительное обилие видов как компонентов видового разнообразия, но и объясняет, каким образом подразделяется пространство экологических ниш. Чем выше кривая и чем более

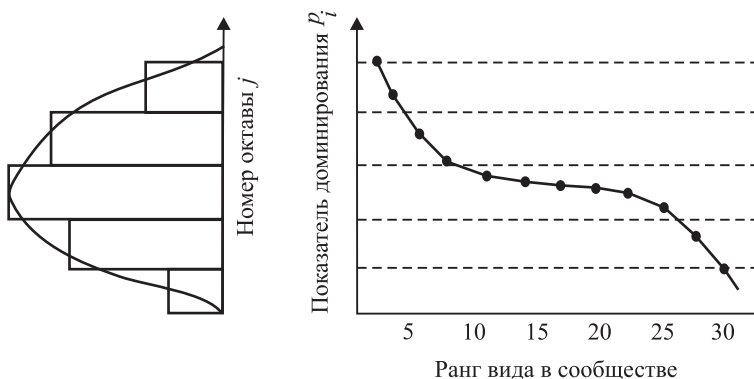


Рис. 1.8. Логнормальное распределение относительного доминирования видов

она полагая, тем больше при данном числе видов общее их разнообразие. Чем круче идет кривая, тем меньше общее разнообразие и сильнее доминирование одного или нескольких видов. В стрессовых ситуациях независимо от того, вызваны ли они естественными причинами или антропогенным воздействием, кривая становится более крутой. Таким образом, кривую доминирования можно использовать для оценки влияния большинства нарушений среды существования на видовую структуру биоценоза.

Кроме видового богатства и типа рангового распределения для характеристики сообществ используется так называемый *показатель разнообразия*, который количественно отражает не только общее число видов, но и особенности количественного состава сообществ. К наиболее часто употребляемым относят:

- *показатель разнообразия по Симпсону*

$$D_n = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2;$$

- *показатель разнообразия по Шеннону*

$$H = -\sum(p_i/p)\log_2(p_i/p),$$

где  $p_i$  – численность (биомасса и т.п.) каждого  $i$ -го вида;  $p$  – общая численность (биомасса и т.п.) всех видов в сообществе;

- *показатель выравненности Пилу*

$$E = H/H_{\max},$$

где  $H$  – реальное, а  $H_{\max}$  – максимально возможное при данном числе видов значение коэффициента Шеннона. Последнее достигается при равенстве численности (биомассы и т.п.) всех видов в сообществе и рассчитывается согласно

$$H_{\max} = \log_2 n.$$

Оба показателя разнообразия Симпсона и Шеннона обладают свойством принимать максимальное значение при равенстве долей всех видов в сообществе.

В случае, когда доля какого-нибудь одного вида, например  $i$ -го, стремится к 1, а всех остальных – к 0, оба показателя также стремятся к 0.

Из двух обобщенных индексов показатель Симпсона придает обычным видам больший вес, поскольку при возведении в квадрат малых значений  $p_i$  получаются очень малые величины. Индекс Шеннона придает больший вес редким видам. Так как он заимствован из теории информации и представляет собой формализацию, которая широко используется при оценке сложности и содержания информации в любых типах систем и лучше всего подходит для целей сравнения в тех случаях, когда не интересуют компоненты разнообразия по отдельности.

При построении Одумом гистограммы для показателя разнообразия Симпсона для разных биоценозов выяснилось, что полученная гистограмма оказалась бимодальной: выделилась одна большая группа биоценозов с низким разнообразием (0,05–0,2) и другая большая группа со сравнительно высоким разнообразием (0,7–0,85). Во всей выборке не оказалось биоценоза с примерно равными значениями показателей относительного доминирования ( $p_1 = \dots = p_n = 1/n$ ), когда индекс разнообразия приближается к своему максимальному значению, т.е. к 1.

В группу с низким биотическим разнообразием попали:

- биоценозы, находящиеся в состоянии стресса под действием внешних сил, поступления вещества или энергии, такие как загрязненные реки или заливы, агробиоценозы или лесные плантации;

- биоценозы, постоянно получающие большие количества высококачественной энергии или полезных веществ.

Биоценозов со средним (около 0,5) разнообразием оказалось сравнительно мало.

Группы с высоким видовым разнообразием свойственны преимущественно естественным биоценозам, не получающим извне концентрированной энергии или биогенных материалов и живущим только за счет солнца, например таким как степи, леса и большие озера.

Эти данные свидетельствуют о том, что видовое богатство и разнообразие биоценозов формируется в результате приспособления к мощности, качественному и количественному составу поступающего энергетического потока.

Стратегия природы как раз и состоит в максимальном увеличении разнообразия, но только до пределов, пока это не приводит к снижению эффективности использования ресурсов

биоценоза. Следовательно, существует некоторый оптимум разнообразия, определяемый *эффективностью биоценоза*. При больших внешних энергетических субсидиях биоценоз – это эффективная, простая, но специализированная структура с низким видовым разнообразием, способная использовать эти благоприятные условия более эффективно, чем большая, но менее специализированная совокупность видов.

В условиях ограниченного энергетического притока более выгодным для поддержания стационарного состояния биоценоза представляется высокий уровень разнообразия: порядка 0,7–0,8. В этом случае достигается бóльшая надежность использования поступающей энергии благодаря наличию многих альтернативных путей.

Таким образом, биологическое разнообразие определяет устойчивость биоценоза и длительность его существования во времени и пространстве. Изменение биологического разнообразия под действием тех или иных причин вызывает адекватное изменение самого биоценоза и переход его в иное качество.

Основными методами сохранения биологического разнообразия являются:

- создание системы охраняемых районов или районов, в которых необходимо принимать специальные меры для сохранения биологического разнообразия;
- регулирование и рациональное использование биологических ресурсов, имеющих важное значение для целей сохранения биологического разнообразия в охраняемых районах или за их пределами;
- содействие защите экосистем, естественных мест обитания и сохранение жизнеспособных популяций видов в естественных условиях;
- организация экологически обоснованного и устойчивого развития территорий в районах, прилегающих к охраняемым районам, в целях содействия охране этих районов;
- обеспечение мер по реабилитации и восстановлению деградировавших экосистем и содействие восстановлению находящихся в опасности видов, в частности, посредством разработки и осуществления планов и других стратегий рационального их использования;
- установление и (или) поддержка средств регулирования, контроля или ограничения риска, связанного с использованием и высвобождением живых измененных организмов, являющихся

ся результатом биотехнологии, которые могут иметь вредные экологические последствия, способные оказать воздействие на сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия, с учетом также опасности для здоровья человека;

- предотвращение интродукции чужеродных видов, которые могут угрожать экосистемам, местам обитания или видам, контролировать или уничтожать такие чужеродные виды;

- создание условий, необходимых для обеспечения совместимости существующих способов использования растительного и животного мира с сохранением его биологического разнообразия;

- разработка или осуществление необходимых законодательных норм и других регулирующих положений для защиты и охраны находящихся в опасности видов и популяций.

К наиболее эффективным формам защиты природных экосистем следует отнести государственную систему особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

*Особо охраняемые природные территории* – участки суши или водной поверхности, которые в силу своего природоохранного и иного назначения полностью или частично изъяты из хозяйственного пользования и для которых установлен особый режим охраны.

К таким территориям можно отнести: государственные природные заповедники, в том числе и биосферные, национальные парки, природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, дендрологические парки и ботанические сады.

Охрана и использование ООПТ осуществляется на основании Закона Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях».

В стране для сохранения биоразнообразия существует сеть ООПТ, имеющих международное значение. К ним относятся восемь рамсарских территорий (республиканские заказники «Ольманские болота», «Средняя Припять», «Званец», «Споровский», «Освейский», «Котра», «Ельня», «Простырь»), на которых осуществляется изучение и охрана болот; трансграничные ООПТ (заказники «Прибужское Полесье» и «Котра») и биосферные резерваты.

Благодаря созданию всех этих ООПТ в стране сохраняются уникальные ландшафты и населяющие их виды животных и растений. Всего в Беларуси взято под охрану 2358 мест обитания и произрастания 355 редких видов животных и растений.

В стране ведется реестр ООПТ. Основной целью этих документов является формирование Национальной экологической сети. При этом ООПТ рассматриваются в качестве ее основных элементов. Разработана также первая автоматизированная база данных ООПТ республиканского значения на основе цифровой карты в масштабе 1:200 000 с использованием ГИС-технологий (географическая информационная система).

## 1.6. Принципы теории систем в экологии

В основе современной экологии лежит понятие системы. Экологическая система – главный предмет экологии.

Существуют некоторые общие принципы, позволяющие составить единый алгоритм для изучения технических, биологических, социальных, любых иных систем, объединенные в общую теорию систем.

В XX в. понятие системы становится одним из ключевых философско-методологических и специально-научных понятий. Основоположителем общей теории систем является Людвиг фон Берталанфи (1969).

Согласно общей теории систем под *системой* понимается некая мыслимая или реальная совокупность частей (элементов) со связями (взаимодействиями) между ними.

Существует ряд общих характерных черт любой системы.

1. Свойства системы невозможно понять лишь на основании свойств ее частей. Решающее значение имеет именно связь или взаимодействие между частями системы. По отдельным деталям машины трудно судить о ее действии и назначении. Изучая по отдельности некоторые формы грибов и водорослей, нельзя предсказать существование их симбиоза в виде лишайника. Независимое рассмотрение законов человеческого общества и законов биоэкологии не позволяет судить о характере взаимоотношений человека и живой природы. Степень несводимости свойств системы к свойствам отдельных элементов, из которых она состоит, определяет *эмерджентность* (от англ. *emergence* – возникновение, появление нового) системы.

2. Каждая система имеет определенную структуру. Она не может состоять из абсолютно идентичных элементов; для любой системы справедлив *принцип необходимого разнообразия элементов*. Нижний предел разнообразия – наличие не менее двух элементов, верхний – бесконечность. Разнообразие зависит от числа разных элементов, составляющих систему, и мо-



жет быть измерено. В экологии оно обычно оценивается по показателю К. Шеннона (о нем шла речь ранее).

3. Всякая система состоит из двух частей – самой системы и ее среды. При этом сила связей элементов внутри системы больше, чем с элементами среды. По характеру связей, в частности по типу обмена веществом и (или) энергией со средой, выделяют системы:

- *изолированные* – невозможен никакой обмен;
- *замкнутые* – невозможен обмен веществом, но обмен энергией возможен;
- *открытые* – возможен обмен и веществом, и энергией.

Системы, между внутренними элементами которых и элементами среды осуществляются переносы вещества, энергии и информации, носят название *динамических систем*. Любая живая система (от вируса до биосферы) представляет собой открытую динамическую систему.

4. Преобладание внутренних взаимодействий в динамической системе над внешними определяет ее устойчивость, или способность противостоять изменениям. В технике известно, что если внешние силы, действующие на какой-либо механизм, оказываются больше сил механической связи между частями этого механизма, он неизбежно разрушается. Аналогично внешнее воздействие на биологическую систему, превосходящее силу ее внутренних связей и способность к адаптации, приводит к необратимым изменениям и гибели системы. Устойчивость динамической системы обеспечивается непрерывно выполняемой ею внешней циклической работой.

5. Действие системы во времени называют *поведением* системы. Изменение поведения под влиянием внешних условий называют *реакцией* системы, а более или менее стойкие изменения реакций системы – *приспособлением (адаптацией)*. Адаптивные изменения структуры и связей системы во времени рассматривают как ее *развитие*, или *эволюцию*. Возникновение и существование всех материальных систем обусловлено их эволюцией. Самоподдерживающиеся динамические системы эволюционируют в сторону усложнения организации и возникновения системной иерархии – образования подсистем в структуре системы. При этом наблюдается определенная последовательность становления эмерджентных свойств (качеств) системы – *устойчивости, управляемости и самоорганизации*. Эволюция состоит из последовательного закрепления такой адаптации, при которой поток энергии через систему и ее потенциальная эффективность увеличиваются.

6. С возрастанием иерархического уровня системы возрастает и сложность ее структуры и поведения. *Сложность* системы определяется числом  $n$  связей между ее элементами:

$$H_n = \lg n.$$

Обычно системы, имеющие до тысячи связей ( $0 < H_n < 3$ ), относятся к *простым*; до миллиона связей ( $3 < H_n < 6$ ) – *сложным*; свыше миллиона ( $H_n > 6$ ) – *очень сложным*. Все известные природные биосистемы обычно очень сложны, в то время, как искусственные – простые или сложные.

Другой критерий сложности связан с характером поведения системы. Если система способна к выбору альтернатив поведения (в том числе и в результате случайного изменения), то такая *решающая* система считается сложной. Следствием увеличения сложности систем в ходе их эволюции является ускорение эволюции, все более быстрое прохождение ее стадий, равноценных по качественным сдвигам.

7. Важной особенностью эволюции сложных систем является *неравномерность*, отсутствие монотонности. Периоды постепенного накопления незначительных изменений иногда прерываются резкими качественными скачками, существенно меняющими свойства системы. Обычно они связаны с так называемыми *точками бифуркации* – раздвоением, расщеплением прежнего пути эволюции. От выбора того или иного направления развития в точке бифуркации очень многое зависит, вплоть до появления и процветания нового мира веществ, организмов, социумов или, наоборот, гибели системы. Даже для решающих систем результат выбора часто непредсказуем, а сам выбор в точке бифуркации может быть обусловлен случайной причиной.

8. Любая реальная система представляется в виде некоторого материального подобия или знакового образа, называемого, соответственно, *аналоговой* или *знаковой моделью системы*. Моделирование неизбежно сопровождается некоторым упрощением и формализацией взаимосвязей в системе. Эта формализация может быть осуществлена в виде логических (причинно-следственных) и (или) математических (функциональных) отношений.

В основе современной биологической картины мира лежит представление о том, что мир живого – это мегасистема высокоорганизованных систем. Биологическая система имеет свои

характерные черты и особенности, которые присущи только живому. Известно, что любая система состоит из совокупности элементов (компонентов) и связей между ними (структуры), которые объединяют данную совокупность элементов в единое целое. Биологическим системам свойственны свои специфические элементы и особенные типы связей между ними. Элементы и компоненты биологических систем выражают дискретную составляющую живого.

Биологические системы предельно индивидуализированы. Среди живых систем нет двух одинаковых особей, популяций, видов и др. Это способствует их адаптации к внешней среде. Вместе с тем любая сложная организация немислима без целостности.

Целостность системы означает несводимость свойств системы к сумме свойств ее элементов. Она порождается структурой системы, типом связей между ее элементами. Биологические системы отличаются высоким уровнем целостности.

Живые системы – открытые системы, постоянно обменивающиеся веществом, энергией и информацией со средой. Обмен веществом, энергией и информацией происходит и между частями системы (подсистемами). Для живых систем характерны отрицательная энтропия (увеличение упорядоченности), способность к самоорганизации.

Динамические процессы в биологических системах, их самоорганизация, устойчивость и переходы из стационарного состояния в нестационарное обеспечиваются различными механизмами саморегуляции.

*Саморегуляция* – это внутреннее свойство биологических систем автоматически поддерживать на некотором необходимом уровне параметры протекающих в них процессов (физиологических, биохимических и др.).

Биологические системы организованы иерархически и представлены большим количеством уровней структурно-функциональной организации. На каждом уровне складываются свои специфические механизмы саморегуляции, основанные, как правило, на принципе обратной связи (отрицательной или положительной), когда отклонение некоторого параметра от необходимого уровня приводит к активизации функций, которые ликвидируют дисбаланс, возвращая данный параметр к нужному уровню. В случае отрицательной обратной связи знак изменения противоположен знаку первоначального отклонения, а при положительной обратной связи знак

изменения совпадает со знаком отклонения; при этом система выходит из одного стационарного состояния и переходит в другое. Любая биологическая система способна пребывать в различных стационарных состояниях. Это позволяет ей, с одной стороны, функционировать в определенных отношениях независимо от среды, а с другой – адаптироваться к среде при соответствующих условиях.

Кроме стационарных, биологические системы имеют и автоколебательные состояния, когда значения параметров изменяются во времени с определенной амплитудой. Такие состояния являются основой периодических биологических процессов, ритмов, часов и др.

Системно-структурные уровни организации многообразных форм живого вещества достаточно многочисленны: молекулярный, субклеточный, клеточный, органотканевый, организменный, видовой, популяционный, биоценотический, биогеоценотический и биосферный. Могут быть определены и другие уровни. Но во всем многообразии уровней выделяются некоторые основные.

Критерием выделения основных уровней выступают специфические дискретные структуры и фундаментальные биологические взаимодействия. На основании этих критериев достаточно четко выделяются следующие уровни организации живого: молекулярно-генетический, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Охарактеризуйте исторические этапы становления экологии как науки.
2. Каковы цели, задачи и методы экологии?
3. Дайте полную характеристику термина «экология» в его историческом развитии.
4. Какова структура и содержание современной экологии?
5. Что такое популяция?
6. Назовите и дайте характеристику основных критериев популяции.
7. Что такое экосистема?
8. Каковы основные свойства экосистемы?
9. Дайте характеристику понятий «биоценоз» и «биогеоценоз».
10. Как применяются принципы теории систем в экологии?

## ГЛАВА 2

# ЭКОСИСТЕМЫ

---

### 2.1. Понятие экосистемы и биогеоценоза

Понятие экосистемы – фундаментальное понятие классической экологии, так как именно экосистемы являются основным предметом изучения в экологии, а экосистемный подход – основным методом.

Термин «экосистема» впервые был предложен в 1935 г. английским ботаником А. Тэнсли (см. ранее гл. 1) для обозначения любого единства любого объема и ранга, включающего все организмы на данном участке и взаимодействующего с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы.

Ю. Одум дает такое определение: «Любое единство, включающее все организмы (т.е. сообщество) на данном участке и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ (т.е. обмен веществами между биотической и абиотической частями) внутри системы, представляет собой экологическую систему, или экосистему» (1975).

Экосистему составляют четыре основных компонента – поток энергии, круговорот веществ, сообщество и энергетические управляющие петли обратной связи (рис. 2.1).

В современной трактовке *экосистема* – это информационно саморазвивающаяся, термодинамически открытая совокупность биотических, экологических компонентов и абиотических источников вещества и энергии, единство и функциональная связь которых в пределах определенного участка биосферы, времени и пространства обеспечивают превышение на этом участке внутренних закономерных перемещений вещества, энергии и информации над внешним обменом (в том числе между соседними аналогичными совокупностями) и на основе этого неопределенно долгую саморегуляцию и развитие целого под управляющим воздействием биотических и биогенных составляющих (Н.Ф. Реймерс, 1990).

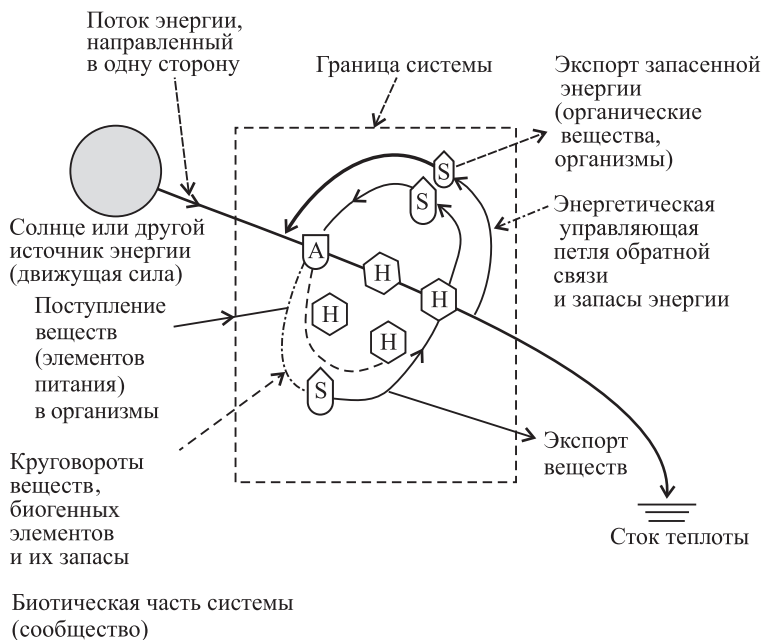


Рис. 2.1. Функциональная схема экосистемы (Ю. Одум, 1975)

Исходя из этого экосистема является основной функциональной единицей в экологии, имеет собственную структуру, иерархию и относится к открытой системе.

В отечественной литературе широко применяется термин **биогеоценоз**, предложенный В.Н. Сукачевым. По его определению, «...это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии».

Сукачев, изучая развитие растительного покрова, пришел к выводу, что он находится в неразрывной взаимосвязи и взаимодействии с другими компонентами географической оболочки – литосферой, атмосферой и гидросферой. Им было показано, что это взаимодействие на уровне растительного сооб-

щества (фитоценоза) протекает в рамках определенного географического комплекса. В своих работах 1940–1942 гг. Сукачев именовал такие комплексы *геоценозами*, однако, учитывая ведущую и наиболее активную роль живых существ в процессах такого взаимодействия, в 1945 г. он предложил использовать термин «биогеоценоз».

Биогеоценоз – это участок земной поверхности, однородный по экологическим условиям, занятый одним биоценозом.

На рис. 2.2. представлена схема биогеоценоза и схема взаимодействия его компонентов по Сукачеву.

Сравнивая рис. 2.1 и 2.2, видна принципиальная разница между понятиями «экосистема» и «биогеоценоз». Биогеоценоз отличается от экосистемы тем, что имеет четкие и строгие пространственные размеры, всегда приурочен к определенному небольшому по площади участку земной поверхности, однородному в экологическом отношении. В то время как экосистема – понятие безразмерное. В качестве экосистемы можно рассматривать и океан, и каплю воды. Поэтому следует различать понятия «экосистема» и «биогеоценоз».

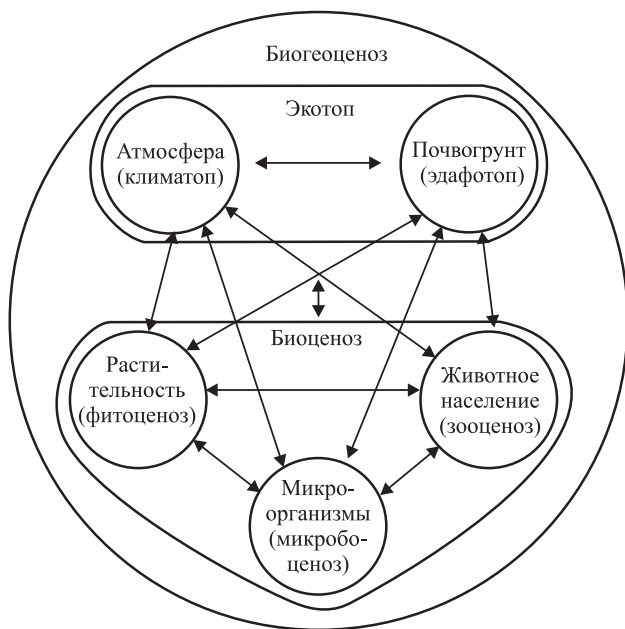


Рис. 2.2. Структура биогеоценоза и схема взаимодействия его компонентов (по В.Н. Сукачеву)

Таким образом, все рассмотренные объекты являются системами взаимодействующих биоценологических и экотопических составляющих, и различия наблюдаются лишь в определении границ этих систем в природе. Конкретизация границ экосистемы во многом зависит от поставленной цели исследования.

Точное задание границ, например биогеоценоза, подразумевает разделение непрерывного по своей природе пространства экоценологических факторов на своеобразные дискретные элементарные модули, что отражает организменные аналогии в противовес современным континуальным представлениям об экологических объектах (Б.М. Миркин, 1985). Все это заставляет рассматривать экосистему в определении Одума как основной предмет экологического исследования.

На современном уровне состояния экологической науки следует признать, что и теоретически, и операционально можно определить только нижнюю границу экосистемы: ее масштаб задается основной функцией – биогенным круговоротом вещества, формируемым потоками энергии и информации. Биом\* (ландшафтная зона) или биосфера в целом выполняют ту же функцию, поэтому верхняя граница экосистемы устанавливается условно. В свою очередь, понятием «экосистема» задается верхняя граница по градиенту объектов экологии: особь – популяция – экосистема.

Экосистемы, как любая система, имеют собственную классификацию, структуру, функции и эволюцию.

## 2.2. Классификация экосистем

Известен ряд классификаций экосистем по тем или иным признакам. По пространственному признаку выделяют:

- *микроекосистемы* (неподвижно лежащий камень, ствол гниющего дерева и т.п.);
- *мезоекосистемы* (лес, пруд и т.д.);
- *макроекосистемы* (континент, океан и др.);
- *глобальные* (биосфера).

По характеру основной среды обитания выделяют *наземные, пресноводные и морские экосистемы*, относящиеся к макроэкосистемам.

---

\* *Биом* – совокупность сообществ, возникшая в результате взаимодействия регионального климата (макроклимата), региональной биоты и субстрата.



Общепринята следующая классификация основных типов природных экосистем (Ю. Одум, 1986):

• **наземные биомы:**

- тундра (арктическая и альпийская);
- биомы северных хвойных лесов;
- листопадные леса умеренной зоны;
- степи умеренной зоны;
- тропические степи и саванны;
- чапараль (субтропические кустарниковые чаще всего вторичные сообщества, распространенные на юго-западе США и в северной Мексике) и жестколиственные леса;
- пустыни;
- полувечнозеленые сезонные тропические леса;
- тропические дождевые леса;
- тропический скрэб, или колючее редколесье;
- зональность в горах;

• **пресноводные экосистемы:**

- лентические экосистемы (озера и пруды);
- лотические экосистемы (ручьи и реки);
- заболоченные пресноводные участки (марши и болота);

• **морские экосистемы:**

- область континентального шельфа;
- области апвеллинга (зоны, в которых холодные глубинные воды океана поднимаются к поверхности);
- лиманы.

Эта классификация видов экосистем заняла ведущее место в современной экологии. Наземные биомы здесь выделены по естественным или исходным чертам растительности, а типы водных экосистем – по геологическим и физическим особенностям. Перечисленные 17 основных типов экосистем представляют основные биотические сообщества, поддерживающие жизнь на Земле.

### **2.3. Структурно-функциональная организация экосистемы**

Структура любой 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 (показывает развитие). Структура является выражением иерархичности и организованности системы. Характер связей и взаимодействия

между элементами с внешней средой представляет собой различные формы вещественного, энергетического и информационного обмена.

При наличии связей системы с внешней средой границы являются открытыми, в противном случае – закрытыми.

Экологическая система представляет собой любую совокупность живых организмов и среды их обитания, взаимосвязанных обменом веществ, энергии и информации, которую можно ограничить в пространстве и во времени по значимым для конкретного исследования принципам. Обычно изучение природных экосистем в общем случае проводится в структурном и функциональном аспектах.

В структурном отношении исследуется видовой состав экосистемы: выясняется перечень видов микроорганизмов, растений и животных, населяющих экосистему, их количественное соотношение.

В функциональном отношении исследуется движение вещества и потоки энергии в экосистеме. Функциональная (экологическая) структура биоценоза характеризует распределение особей биоценоза по выполняемым им функциям.

Информация в экологических системах может пониматься как энергетически слабый сигнал, управляющий системой. Например, он может восприниматься ее организмами в форме закодированного сообщения о возможности многократно более мощных влияний со стороны других организмов либо факторов среды, вызывающих их ответную реакцию. Считается, что информационная сеть экосистемы состоит из потоков сигналов физико-химической природы и определяет ее кибернетические (управленческие) возможности.

Управление в экосистемах основывается на обратной связи, изображаемой обратной петлей, по которой часть сигналов с выхода системы поступает обратно на ее вход (см. рис. 2.1). При этом их влияние на управление системой может резко усилиться. В природе часто низкоэнергетические сигналы вызывают высокоэнергетические реакции.

В каждом биоценозе организмы выполняют разные функции, благодаря которым осуществляется биогенный круговорот веществ и энергии.

### **2.3.1. Трофическая структура и поток энергии в экосистеме**

В состав биоценоза входят организмы, различающиеся по способу питания, – автотрофы и гетеротрофы.

**Автотрофы** – это организмы, которые образуют органическое вещество своего тела посредством фотосинтеза и хемосинтеза. *Фотосинтез* осуществляют *фотоавтотрофы* – все хлорофиллоносные зеленые растения и микроорганизмы. *Хемосинтез* осуществляют некоторые почвенные и водные хемоавтотрофные бактерии, которые используют в качестве энергии не солнечный свет, а ферментативное окисление ряда веществ – водорода, сероводорода, серы, аммиака, железа. Фотоавтотрофы (зеленые растения) составляют основную массу биоты и отвечают за образование всего нового органического вещества в экосистеме, т.е. являются первичными производителями продукции – *продуцентами* экосистем. Синтезированная автотрофами новая биомасса органического вещества – это *первичная продукция*, а скорость ее образования – *первичная продуктивность* экосистем. Автотрофы образуют *первый трофический уровень* экосистемы.

**Гетеротрофы** не способны осуществлять фото- и хемосинтез. Они не могут самостоятельно синтезировать органическое вещество из неорганических веществ, а для питания используют органические вещества, уже созданные другими организмами. К ним относятся человек, животные и некоторые микроорганизмы. Образованная гетеротрофами масса органического вещества – это *вторичная продукция*, а скорость образования вторичной продукции называется *вторичной продуктивностью*.

Экосистема представляет собой непрерывно обновляющееся при смене поколений и меняющее среду обитания сообщество, живущее за счет притока энергии и круговорота веществ, организуемого самим сообществом. Экосистема как биологическая система может существовать только в процессе движения через нее вещества, энергии и информации.

Каждая экосистема имеет собственное материально-энергетическое обеспечение и определенную функциональную структуру, основанную на пищевых (трофических) отношениях. Эта структура представлена тремя группами организмов – продуцентами, консументами и редуцентами, каждая из которых выполняет определенную работу в круговороте веществ и энергии. В зависимости от роли, которую играет организм в биогенном круговороте, он относится к определенной функциональной группе организмов.

1. **Продуценты** (*создатели*) – автотрофные организмы, создающие в процессе фотосинтеза и хемосинтеза органические

вещества из неорганических. Основные продуценты в наземных и водных биоценозах – это зеленые растения.

2. **Консументы** (*потребители*) – гетеротрофные организмы, которые используют для питания органические вещества, произведенные растениями или другими гетеротрофами, и передают содержащуюся в них энергию по пищевым цепям. Они не способны синтезировать органические вещества своего тела из неорганических составляющих. К ним относятся животные и человек.

В зависимости от вида потребляемого органического вещества, консументы подразделяются на *порядки*. Организмы, потребляющие продуцентов, – консументы первого порядка (*фитофаги*, или *растительоядные*). Организмы, потребляющие консументов первого порядка, – это консументы второго порядка (*зоофаги*, или *плотоядные животные*, питающиеся фитофагами). Организмы, потребляющие консументов второго порядка, – консументы третьего порядка (хищники, питающиеся другими животными). Количество порядков в природе ограничено первичной продукцией продуцентов.

3. **Редуценты** (*разрушители, деструкторы, детритофаги*) – гетеротрофные организмы, разрушающие мертвое органическое вещество растений и животных (*детрит*) до элементов-биогенов, которые затем поглощаются продуцентами. Продуценты и консументы на определенной стадии жизненного цикла отмирают и образуют детрит, который через несколько этапов также превращается в биогены за счет минерализации.

Различают три порядка редуцентов:

- редуценты первого порядка (механические разрушители) – осуществляют механическое разрушение детрита, практически его не разлагая. К ним относятся некоторые виды насекомых и их личинки, землероющие млекопитающие;
- редуценты второго порядка (гуминизаторы) – частично разлагают детрит, превращая его в гумус. Эту функцию выполняют грибы, простейшие и микроорганизмы размером более 0,1 мм;
- редуценты третьего порядка (минерализаторы) – обеспечивают полное разрушение гумуса до химических элементов-биогенов. К ним относятся микроорганизмы размером менее 0,1 мм.

Редуценты, отмирая, также превращаются в детрит.

Существование живых организмов возможно только в такой среде, где связи с другими живыми организмами обеспе-

чивают благоприятные условия для роста, развития и воспроизведения себе подобных. Основной формой проявления связей с другими живыми организмами служат пищевые взаимоотношения, на которых формируются пищевые (трофические) цепи и пищевые (трофические) сети.

**Трофическая цепь (цепь питания)** – перенос энергии пищи от ее источника (зеленого растения) через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими из более высоких трофических уровней.

**Трофический уровень** – совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей трофической цепи, объединенных одним типом питания. К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.

Цепь питания состоит из нескольких звеньев, или трофических (пищевых) уровней. На рис. 2.3 представлена классическая пищевая цепь.

Первый уровень образуют автотрофные организмы – продуценты, т.е. зеленые растения и простейшие, содержащие хлорофилл; второй – консументы первого порядка, или потребители, т.е. животные организмы, потребляющие растения (фитофаги, или растительноядные); третий трофический уровень – паразитические и хищные животные организмы, живущие за счет растительноядных консументов. В классической

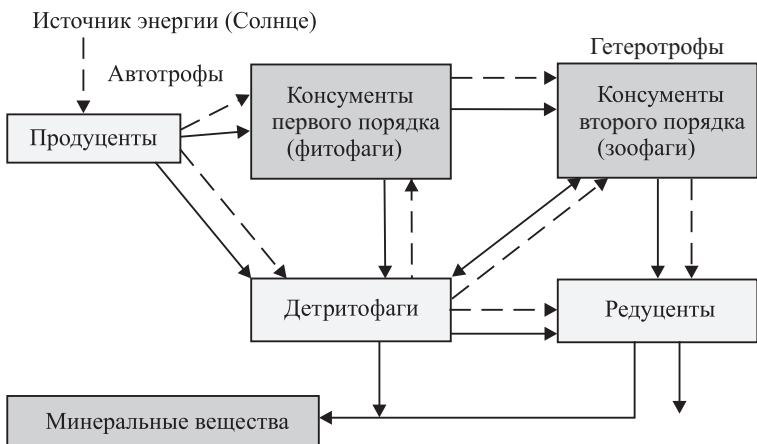


Рис. 2.3. Классическая пищевая цепь

цепи питания может существовать еще один уровень, образованный сверхпаразитами и хищниками второго порядка. Следует отметить, что обычно цепи питания не бывают бесконечно длинными, чаще всего они состоят из трех-пяти уровней. Это обусловлено тем, что чем больше участников в цепи питания, тем больше она подвержена влиянию внешней среды и тем менее она устойчива.

Такая последовательность и соподчиненность связанных в форме трофических уровней групп организмов представляет собой поток вещества и энергии в экосистеме, основу ее организации.

Существование и жизнедеятельность продуцентов и консументов ограничены во времени, жизненные циклы любого организма неизбежно заканчиваются его смертью, являющейся необходимой диалектической противоположностью жизни на нашей планете. Поэтому конечное звено любой пищевой цепи создают *организмы-редуценты*, или *деструкторы*, которые утилизируют мертвое органическое вещество, обеспечивая собственное рост и развитие. Благодаря деятельности редуцентов происходит возврат минеральных элементов (косного вещества) в биогеохимический цикл в биосфере.

В табл. 2.1 представлены трофические уровни в экологических системах.

Таблица 2.1. Трофические уровни экосистем в биосфере (по М.М. Камшилову, 1979)

Организмы и трофические уровни				
I	II	III	IV-V	VI
Автотрофные организмы-продуценты	Гетеротрофные организмы-консументы			
Зеленые растения	Консументы первого порядка	Консументы второго и последующих порядков: плотоядные животные-зоофаги		Деструкторы, или редуценты
	Растительноядные животные (фитофаги)	Паразиты и хищники животных	Сверхпаразиты и хищники животных	Бактерии, грибы, животные: копрофаги, некрофаги, сапрофаги и др.

В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов в экосистеме приобретает определенную трофическую структуру.

**Трофическая структура** сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно первого, второго и последующих порядков) и редуцентами, выраженное или количественно особой живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, на единицу площади в единицу времени.

Трофическую структуру обычно изображают в виде *экологических пирамид*. Эту графическую модель разработал в 1927 г. английский зоолог Ч. Элтон. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень – уровень продуцентов, а следующие этажи пирамиды образованы последующими уровнями – консументами различных порядков. Высота всех блоков одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

**Первый способ.** *Пирамида чисел* (численностей) отражает численность отдельных организмов на каждом уровне.

**Второй способ.** *Пирамида биомасс* – это соотношение масс организмов разных трофических уровней. Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов первого порядка больше, нежели консументов второго порядка и т.д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой.

Пирамиды чисел и биомасс могут быть обращенными, т.е. перевернутыми основанием вверх. Это происходит, когда численность (биомасса) продуцентов оказывается меньшей, нежели консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона общая масса его в данный момент может быть меньше, нежели у потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).

Пирамиды чисел и биомасс отражают статику системы, т.е. характеризуют количество или биомассу организмов в определенный промежуток времени. Они не дают полной информации о трофической структуре экосистемы, хотя позволяют решать ряд практических задач, особенно связанных с сохранением устойчивости экосистем. С помощью пирамиды чисел, например, можно рассчитывать допустимую величину вылова рыбы или норму отстрела животных в охотничий период без последствий для нормального их воспроизведения.

**Третий способ.** *Пирамида энергии* отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы пищи через пи-

щевую цепь. На структуру экосистемы в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи.

Пирамиды энергии показывают эффективность преобразования энергии и продуктивность пищевых цепей, строятся подсчетом количества энергии (Дж), аккумулированной единицей поверхности за единицу времени и используемой организмами на каждом трофическом уровне. Так можно относительно легко определить количество энергии, накопленной в биомассе, и сложнее оценить общее количество энергии, поглощенной на каждом трофическом уровне.

На рис. 2.4 представлены виды экологических пирамид. Анализ таких пирамид показывает, что деструкторы, которые по значимости занимают наименьшее место в пирамиде биомасс

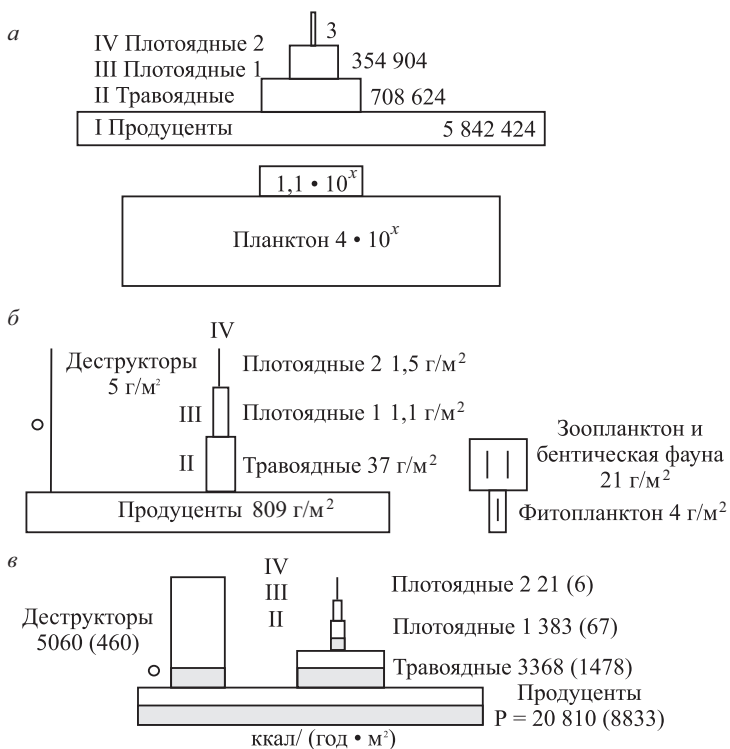


Рис. 2.4. Экологические пирамиды (по Ю. Одуму, 1959):

*а* – пирамида численности; *б* – пирамида биомассы; *в* – пирамида энергии (Заштрихованные прямоугольники обозначают чистую продукцию.)



и наибольшее в пирамиде численности, получают в результате значительную часть энергии, проходящей через экосистему. При этом только часть всей энергии остается в организмах на каждом трофическом уровне экосистемы и сохраняется в биомассе, остальная часть используется для удовлетворения метаболических потребностей живых существ, таких как поддержание существования, рост, воспроизводство, мышечная работа и др.

**Поток энергии в экосистеме.** Основой существования и развития жизни на Земле является Солнце. Именно за счет солнечной радиации в процессе фотосинтеза автотрофные организмы создают основной поток энергии, который впоследствии проходит через трофическую сеть, создавая биомассу живого вещества в биосфере.

Рассмотрим более подробно, что происходит с энергией при ее передаче через пищевую цепь (рис. 2.5).

Известно, что солнечная энергия, полученная растением, лишь частично используется в процессе фотосинтеза. Фиксированная в углеводах энергия представляет собой валовую продукцию экосистемы ( $P_B$ ). Углеводы идут на построение протоплазмы и рост растений. Часть их энергии затрачивается на дыхание ( $D_1$ ). Чистая (первичная) продукция ( $P_ч$ ) определяется по формуле

$$P_ч = P_B - D_1.$$

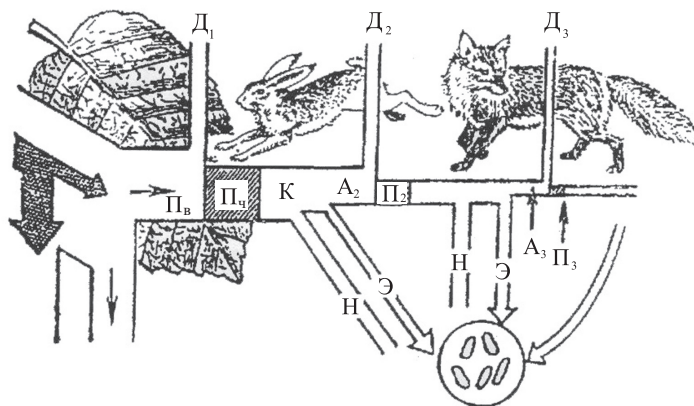


Рис. 2.5. Поток энергии через три уровня трофической цепи (по П. Дювиньо и М. Тангу, 1968)

Следовательно, поток энергии, проходящий через первый трофический уровень (уровень продуцентов), или валовую продукцию, можно представить:

$$P_B = P_{\text{ч}} + D_1.$$

Определенное количество созданных продуцентами веществ служит кормом (К) фитофагов. Остальное отмирает и перерабатывается редуцентами (Н). Ассимилированный фитофагами корм (А) лишь частично используется для образования их биомассы. Главным образом он растрачивается на обеспечение энергией процессов дыхания и в определенной степени выводится из организма в виде выделений и экскрементов (Э). Поток энергии, проходящий через второй трофический уровень, выражается следующим образом:

$$A_2 = P_2 + D_2.$$

Консументы второго порядка (хищники) не потребляют всю биомассу своих жертв. При этом из того количества ее, которое они потребляют, только часть используется на создание биомассы их собственного трофического уровня. Остальная же часть в основном затрачивается на энергию дыхания, выделяется с экскретами и экскрементами. Поток энергии, проходящий через уровень консументов второго порядка (плотоядные), выражается формулой

$$A_3 = P_3 + D_3.$$

Подобным образом можно проследить совокупность пищевой цепи и до последнего трофического уровня. Распределив по вертикали различные затраты энергии на трофических уровнях, получим полную картину пищевой пирамиды в экосистеме.

Таким образом, поток энергии, выражающийся количеством ассимилированного вещества по цепи питания, на каждом трофическом уровне уменьшается:

$$P_{\text{ч}} > P_2 > P_3 \text{ и т.д.}$$

На основании этого в 1942 г. американский эколог Р. Линдeman сформулировал *закон пирамиды энергий*, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10%

поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии. Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения, на движение и т.д. Организмы в результате процессов обмена веществ теряют в каждом звене пищевой цепи около 90% всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности.

Установлено, что максимальная величина энергии, передающейся на следующий трофический уровень, может в лучшем случае составлять 30% от предыдущего. Во многих биоценозах, пищевых цепях величина передаваемой энергии может составлять всего лишь 1%.

Если травоядное животное съело 10 кг растительной массы, то его собственная масса прирастает на 1 кг. Лисица или волк, поедая 1 кг мяса, увеличивают свою массу приблизительно на 100 г. У древесных растений эта доля намного ниже из-за плохой усвояемости древесины организмами. Для трав и морских водорослей эта величина значительно больше, поскольку у них отсутствуют трудноусвояемые ткани. Однако общая закономерность процесса передачи энергии остается: через верхние трофические уровни ее проходит значительно меньше, чем через нижние. Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 3–5 (редко 6) звеньев, а экологические пирамиды не могут состоять из большого количества этажей. К конечному звену пищевой цепи так же, как и к верхнему этажу экологической пирамиды, будет поступать очень мало энергии, и ее не хватит в случае увеличения числа организмов.

Этому утверждению можно найти объяснение, проследив, куда тратится энергия потребленной пищи ( $C$ ). Часть ее идет на построение новых клеток, т.е. на прирост ( $P$ ). Часть энергии пищи расходуется на обеспечение энергетического обмена, или на дыхание ( $R$ ). Поскольку усвояемость пищи не может быть полной, т.е. 100%, то часть неусвоенной пищи в виде экскрементов удаляется из организма ( $F$ ). Балансовое равенство будет выглядеть следующим образом:

$$C = P + R + F.$$

Учитывая, что энергия, затраченная на дыхание, не передается на следующий трофический уровень и уходит из экосистемы, становится ясным, почему каждый последующий уровень всегда будет меньше предыдущего. Именно поэтому большие хищные животные всегда редки. По этой же причине

нет хищников, которые питались бы, например, только волками, так как они просто не прокормились бы, поскольку волки немногочисленны.

На основании литературных данных Ю. Одум (1959) в предельно упрощенной пищевой цепи люцерны → теленок → → ребенок оценил превращение энергии и рассчитал величину ее потерь (рис. 2.6).

Допустим, рассуждал он, имеется посев люцерны на площади 4 га. На этом поле кормятся телята (предполагается, что они едят только люцерну), а 12-летний мальчик питается исключительно телятиной. Если бы мальчик в течение года питался только телятиной, то для этого потребовалось бы 4,5 теленка, а для их пропитания необходимо  $2 \times 10^7$  растений люцерны.

Результаты расчетов, представленные в виде пирамид численности, биомассы и энергии на рис. 2.6, показывают, что люцерна использует всего 0,24% всей падающей на поле солнечной энергии, теленком усваивается 8% этой продукции и только 0,7% биомассы теленка обеспечивает развитие ребенка в течение года.

Одум, таким образом, показал, что только одна миллионная доля приходящейся солнечной энергии превращается в биомассу плотоядного, в данном случае способствует увеличению массы

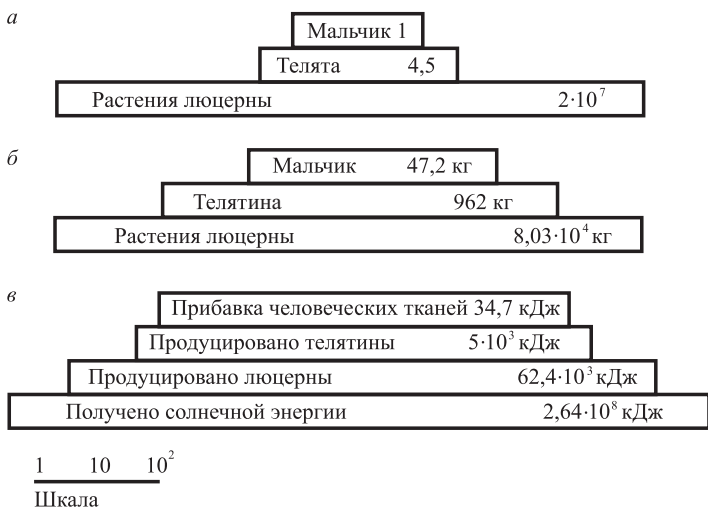


Рис. 2.6. Пример простых трофических пищевых пирамид (данные приведены в расчете на 4 га за год. Шкала логарифмическая):  
*a* – пирамида чисел; *б* – пирамида биомассы; *в* – пирамида энергии

ребенка, а остальное теряется, рассеивается в деградированной форме в окружающей среде.

Приведенный пример наглядно иллюстрирует очень низкую экологическую эффективность экосистем и малый коэффициент полезного действия (КПД) при превращении энергии в пищевых цепях. Таким образом, из 1000 ккал ( $\text{сут}/\text{м}^2$ ) фиксированной продуцентами, не более 10 ккал ( $\text{сут}/\text{м}^2$ ) переходит в биомассу травоядных и только 1 ккал ( $\text{сут}/\text{м}^2$ ) – в биомассу плотоядных.

Анализ потока энергии, проходящей через трофические уровни, показывает, что в экосистеме управляющим и стабилизирующим звеном служат консументы (рис. 2.7). Это и есть *правило управляющего значения консументов*.

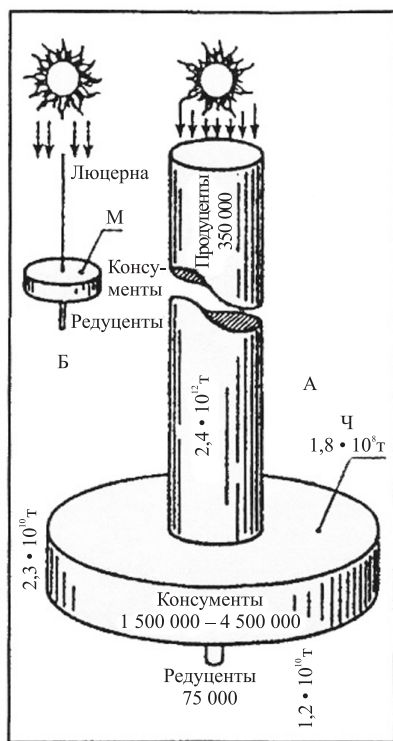


Рис. 2.7. «Волчок жизни» – схема, иллюстрирующая управляющее и стабилизирующее значение консументов в экосистеме (по Н.Ф. Реймерсу, 1990): А – биосфера в целом; Ч – человечество; Б – упрощенная модельная экосистема: люцерна – телята – мальчик (М) с включением других консументов и редуцентов. Диаметр колес (цилиндров) – число видов, толщина колес (длина цилиндров) – биомасса

Консументы создают спектр видового разнообразия в биоценозе, препятствуя монополии доминантных видов. Согласно кибернетическим воззрениям управляющая система должна быть сложнее по структуре, чем управляемая, поэтому становится ясной причина множественности видов консументов.

Кроме пищевых в сообществе организмов неизбежно возникновение пространственных взаимоотношений, это значит, что каждый организм имеет строго ограниченное и свойственное только ему место обитания.

Существует два основных типа трофических цепей – пастбищные и детритные.

В *пастбищной трофической цепи (цепь выедания)* основу составляют автотрофные организмы, затем идут потребляющие их растительноядные животные (например, зоопланктон, питающийся фитопланктоном), потом хищники (консументы) первого порядка (например, рыбы, потребляющие зоопланктон), хищники второго порядка (например, судак, питающийся другими рыбами). Особенно длинны трофические цепи в океане, где некоторые виды занимают место консументов четвертого порядка. (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Биотический круговорот веществ: пищевая цепь (по А.Г. Банникову и др., 1985)

В детритных трофических цепях (цепи разложения), наиболее распространенных в лесах, большая часть продукции растений не потребляется непосредственно растительноядными животными, а отмирает, подвергаясь затем разложению сапрофитными организмами и минерализации. Таким образом, детритные трофические цепи начинаются от детрита, идут к микроорганизмам, которые им питаются, а затем к детритофагам и к их потребителям – хищникам. В водных экосистемах (особенно в эвтрофных водоемах и на больших глубинах океана) часть продукции растений и животных также поступает в детритные трофические цепи (рис. 2.9).

В целом типичные детритные пищевые цепи наших лесов можно представить следующим образом: листовая подстилка → дождевой червь → черный дрозд → ястреб-перепелятник; мертвое животное → личинки падальных мух → травяная лягушка → обыкновенный уж.

В рассмотренных пищевых цепях каждый организм представлен питающимся другим организмом какого-то одного типа. Однако в реально существующих пищевых цепях пищевые связи в экосистеме намного сложнее. Животное может питаться организмами разных типов из одной и той же пищевой цепи или из разных пищевых цепей, как, например, хищники верхних трофических уровней. Нередко животные питаются и растениями, и другими животными. Их называют *всеядными*. Таким образом, все известные типы пищевых цепей всегда сосуществуют в экосистеме так, что ее представители

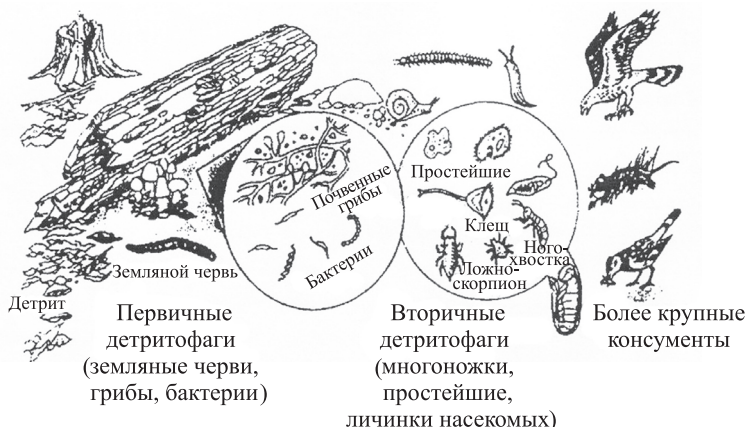


Рис. 2.9. Детритная пищевая цепь в наземной экосистеме (по Б. Небелу, 1993)



объединены многочисленными пересекающимися пищевыми связями, а вместе эти пищевые цепи образуют *пищевую (трофическую) сеть*.

Опираясь на пищевую цепь как основу функционирования экосистемы можно также объяснить случаи накопления в тканях некоторых веществ (например, синтетических ядов, пестицидов, радионуклидов), которые попадают извне в живые организмы через трофические цепи, но по мере их движения по трофической цепи не участвуют в нормальном обмене веществ организмов. Согласно *правилу биологического усиления* происходит примерно десятикратное увеличение концентрации загрязнителя при переходе на более высокий уровень экологической пирамиды. В частности, казалось бы незначительное повышение содержания радионуклидов в речной воде на первом уровне трофической цепи ассимилируется микроорганизмами и планктоном, затем концентрируется в тканях рыб и достигает максимальных значений у чаек. Их яйца имеют уровень радионуклидов в 5000 раз больший по сравнению с фоновым загрязнением.

Все функциональные группы (продуценты, консументы, редуценты) в экосистеме связаны, обеспечивая потоки вещества и энергии. Благодаря этому осуществляется *биогенный круговорот веществ в биосфере* (см. далее – гл. 3).

Совместное функционирование продуцентов, консументов и редуцентов не только поддерживает структуру и целостность экосистемы, но и оказывает существенное влияние на абиотические компоненты биотопа, формируя и поддерживая экологическую среду экосистемы.

### 2.3.2. Продуктивность экосистем

Продуктивность экосистем тесно связана с потоком энергии, проходящим через ту или иную экосистему. В каждой экосистеме часть приходящей энергии, попадающей в трофическую сеть, накапливается в виде органических соединений. Безостановочное производство биомассы (живой материи) – один из фундаментальных процессов биосферы.

Органическое вещество, создаваемое продуцентами в процессе фотосинтеза или хемосинтеза, называют *первичной продукцией* экосистемы (сообщества). Количественно ее выражают в сырой или сухой массе растений (г, кг и т) или в эк-



вивалентном числе энергетических единиц (ккал, Дж). Первичной продукцией определяется общий поток энергии через биотический компонент экосистемы, а следовательно, и биомасса живых организмов, которые могут существовать в экосистеме.

Теоретически возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется возможностями фотосинтетического аппарата растений. Лишь часть энергии света, получаемой зеленой поверхностью, может быть использована растениями. Из коротковолнового излучения Солнца только 44% относится к фотосинтетически активной радиации (ФАР), свету по длине волны, пригодному для фотосинтеза. Максимально достигаемый в природе КПД фотосинтеза составляет 10–12% энергии ФАР. КПД фотосинтеза в 5% считается очень высоким для этого процесса. В целом по земному шару усвоение растениями солнечной энергии не превышает 0,1% из-за ограничения фотосинтетической активности растений множеством факторов, таких как недостаток тепла и влаги, неблагоприятные физические и химические свойства почвы и т.д. Средний коэффициент использования энергии ФАР для территории России равен 0,8%, на европейской части страны составляет 1,0–1,2%, а в восточных районах, где условия увлажнения менее благоприятны, не превышает 0,4–0,8%.

Первичная продуктивность подразделяется на чистую и валовую.

*Чистая первичная продуктивность* – запасаемое автотрофными организмами органическое вещество, которое идет на рост фитомассы. Такая продуктивность выражается как разность между валовой первичной продуктивностью и количеством органического вещества, израсходованного на поддержание системы (дыхание и пр.). Это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

*Валовая первичная продуктивность* – валовой фотосинтез, или общее количество органического вещества, продуцируемого автотрофами в процессе фотосинтеза в течение определенного периода времени, включая ту органику, которая расходуется на дыхание.

Общее количество живого вещества, произведенного совокупностью всех автотрофных и гетеротрофных организмов на единицу площади за единицу времени (обычно за год) называют *вторичной валовой продуктивностью*.

Вторичную продукцию вычисляют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего. Гетеротрофы, включаясь в трофические цепи, в конечном итоге живут за счет чистой первичной продукции сообщества. Полнота ее расхода в разных экосистемах различна. Постепенное увеличение общей биомассы продуцентов отмечается, если скорость изъятия первичной продукции в цепях питания отстает от темпов прироста растений.

Мировое распределение первичной биологической продукции весьма неравномерно. Чистая продукция меняется от 3000 г ( $\text{м}^2/\text{год}$ ) до нуля в экстрааридных пустынях, лишенных растений, или в условиях Антарктиды с ее вечными льдами на поверхности суши, а запас биомассы – соответственно от 60  $\text{кг}/\text{м}^2$  до нуля.

Р. Уиттекер (1980) делит по продуктивности все сообщества на четыре класса:

- 1-й – сообщества высшей продуктивности, 3000–2000 г ( $\text{м}^2/\text{год}$ ). Сюда относятся тропические леса, посевы риса и сахарного тростника. Запас биомассы в этом классе продуктивности весьма различен и превышает 50  $\text{кг}/\text{м}^2$  в лесных сообществах, равен продуктивности у однолетних сельскохозяйственных культур;

- 2-й – сообщества высокой продуктивности, 2000–1000 г ( $\text{м}^2/\text{год}$ ). В этот класс включены листопадные леса умеренной полосы, луга при применении удобрений, посевы кукурузы. Максимальная биомасса приближается к биомассе 1-го класса. Минимальная биомасса соответственно равна чистой биологической продукции однолетних культур;

- 3-й – сообщества умеренной продуктивности, 1000–250 г ( $\text{м}^2/\text{год}$ ). К этому классу относится основная масса возделываемых сельскохозяйственных культур, кустарники, растительные сообщества степи. Биомасса степей меняется в пределах 0,2–5  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;

- 4-й – сообщества низкой продуктивности, ниже 250 г ( $\text{м}^2/\text{год}$ ) – пустыни, полупустыни, тундры.

Биомасса и первичная продуктивность основных типов экосистем представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Биомасса и первичная продуктивность основных типов экосистем (по Т.Д. Акимовой, В.В. Хаскину, 1994)

Экосистемы	Биомасса, т/га	Продукция, т/га в год
Пустыни	0,1–0,5	0,1–0,5
Центральные зоны океана	0,2–1,5	0,5–2,5
Полярные моря	1–7	3–6
Тундра	1–8	1–4
Степи	5–12	3–8
Агроценозы	–	3–10
Саванна	8–20	4–15
Тайга	70–150	5–10
Лиственный лес	100–250	10–30
Влажный тропический лес	500–1500	25–60
Коралловый риф	15–50	50–120

На европейской части в зонах достаточного увлажнения первичная продуктивность увеличивается с севера на юг с увеличением притока тепла и продолжительности вегетационного периода. Годовой прирост растительности здесь изменяется от 20 ц/га на побережье и островах Северного Ледовитого океана до более чем 200 ц/га в Краснодарском крае и на Черноморском побережье Кавказа.

Накопляемая энергия (чистая продукция) сохраняется в виде прироста биомассы.

**Биомасса** – выраженное в единицах массы количество живого вещества, приходящееся на единицу площади или объема местообитания (г/м<sup>2</sup>, кг/га, г/м<sup>3</sup> и др.).

Часть биомассы экосистемы ежегодно теряется в результате гибели и разложения организмов или их отдельных тканей. Остальная, живая часть, составляет *общее количество биомассы*, или *урожай на корню*. Последняя изменяется в зависимости от времени года. В травянистых биомах биомасса ежегодно обновляется, а в лесах значительная часть энергии сохраняется в виде древесины.

Консументы находятся в непосредственной зависимости от накопления чистой продукции зелеными растениями. Но и полученная ими энергия с первого трофического уровня усваивается ими не полностью. Например, мыши усваивают около 90% потребляемой пищи, а зеленый кузнечик – всего лишь 30%. Во всех случаях большая часть энергии расходуется на поддержание жизни и в конце концов теряется в процессах дыхания и теплоотдачи; она уже не может быть использована экосистемой. Остаток энергии накапливается в виде новых

особей и новых тканей. Эту накопленную травоядными животными энергию в виде биомассы используют хищники – консументы второго и третьего порядков.

### 2.3.3. Динамика и эволюция экосистем

Экосистемы образуются, формируются, какое-то время находятся в состоянии стабильного расцвета, потом стареют и сменяются другими, более соответствующими изменившимся условиям окружающей среды. Структурно-функциональное состояние особей популяций в экосистеме постоянно видоизменяется.

Изменения, происходящие в пределах биоценоза, можно разделить на циклические (периодические) и нециклические (непериодические).

**Циклические (периодические) изменения** в экосистеме отражают суточную, сезонную и многолетнюю периодичность изменения внешних условий. Эта периодичность обусловлена циклами в природе, которые связаны, прежде всего, с космическими явлениями. Циклические изменения биоценозов можно разделить на три группы: суточные, сезонные, многолетние.

*Суточные изменения* связаны с изменением силы действия экологических факторов среды (температуры, влажности, освещенности и др.), которые происходят при смене дня и ночи вследствие вращения Земли вокруг своей оси. Суточные изменения биоценозов наблюдаются во всех географических зонах. Они выражаются в смене активности организмов и их физиологических функций (одни виды активны днем, а другие – ночью; днем растения осуществляют фотосинтез и дыхание, а ночью – только дыхание), а также в суточных миграциях (например, веслоногие и ветвистоусые рачки в океане ночью движутся к поверхности воды, а днем – вниз).

*Сезонные изменения* связаны с изменением силы экологических факторов при смене сезонов года, что обусловлено вращением Земли вокруг Солнца. В результате этих изменений меняются качественные и количественные характеристики биоценоза. С сезонной активностью связаны изменения в размножении, пищевых связях, групповых отношениях (формирование стад и стай), совместной деятельности видов. В определенные периоды года некоторые виды исключаются из жизни биоценоза (спячка, диапауза, миграции и др.).

Сезонному изменению активности подвергаются также ярусы растительности (облиствление крон весной и летом, цветение весной и летом, плодоношение летом и осенью, листопад осенью, покой зимой). Сезонные изменения больше выражены в направлении от экватора к полюсам земного шара.

*Многолетние изменения* биоценозов обусловлены периодичностью локальных и глобальных изменений климата, которые связаны с изменениями общей циркуляции атмосферы и солнечной активности. Последняя периодически изменяется примерно через 11 лет. Периодически засушливые годы сменяются влажными, теплые – холодными, что сопровождается соответствующим изменением важнейших характеристик биоценозов.

**Нециклические (непериодические) изменения** биоценозов – это изменения, которые не имеют закономерного повторения во времени. Они делятся на случайные (стохастические) и поступательные.

*Случайные (стохастические) изменения* вызываются резким изменением силы экологических факторов вследствие природных катаклизмов (наводнения, ураганы, землетрясения и др.). Они часто непредсказуемы и не имеют определенных закономерностей протекания.

*Поступательные изменения* происходят в одном направлении, потому что они вызываются однонаправленным изменением силы экологических факторов (в сторону усиления либо ослабления). В конечном итоге поступательные изменения приводят к смене одного биоценоза другим с новым набором видов.

Последовательная смена на данной территории одних сообществ другими называется сукцессией.

**Сукцессия** – последовательная, необратимая смена биоценозов, преемственно возникающих на одной и той же территории в результате влияния природных факторов (в том числе внутренних, ценотипических сил) или воздействия человека.

Термин «сукцессия» был предложен Де Люком в 1806 г.

Сукцессии экосистем в целом рассматриваются как реализация потенциальных возможностей биоты перестраивать структуру экосистемы в соответствии с изменяющимися параметрами внешней среды, в том числе и на воздействие антропогенных факторов.

Классическая схема динамики экосистемы предполагает, что в естественных условиях смены (сукцессии) идут в сторону создания устойчивого сообщества, стабильность которого

поддерживается равновесием между ним и окружающей средой, т.е. созданием климаксового сообщества.

**Климакс** – стабильная, конечная (кульминационная) стадия достижимого развития (сукцессии) экосистемы в условиях данной области.

Характер климакса обычно определяется климатическими, почвенными, геоморфологическими, биотическими и антропогенными факторами.

Климаксовые сообщества менее устойчивы к воздействию факторов среды, в том числе и антропогенных. Это является следствием узкой специализации климаксового сообщества, высокой степени сбалансированности свойственных им функциональных процессов.

Субклимаксовые сообщества, находящиеся на пути к климаксу, менее специализированы и поэтому обладают большей способностью к восстановлению своей структуры. В настоящее время, когда прессинг антропогенных факторов стал повсеместным, эта категория экосистем в силу своей высокой адаптивности является наиболее распространенной.

**Флуктуация** – направленное изменение биоценоза от года к году, завершающееся возвратом его к исходному или близкому к исходному состоянию. В основном относится к фитоценозам, но с некоторой долей условности можно оперировать этим понятием и для других видовых участников экосистемы.

Сукцессии по сравнению с флуктуациями носят более длительный характер. Развитие их происходит в определенном направлении. Сукцессионные процессы никогда не имеют характера колебаний около какого-то среднего состояния.

Различают эндогенные и экзогенные сукцессии.

**Эндогенная сукцессия (ценогенетическая)** – сукцессия экосистем, при которой образование сообщества происходит вследствие изменения биоценотической среды в результате жизнедеятельности самих организмов. Эндогенные сукцессии являются наиболее сложными и длительными. Среди них различают первичные сукцессии, которые начинаются на почвенных субстратах, не затронутых почвообразовательным процессом (скальные породы, вулканические лавы, вновь отложенные элювии), и вторичные, происходящие на месте сформировавшихся биоценозов после их нарушения (пожара, вырубки леса, засухи, эрозии, вулканических извержений и др.).

*Экзогенные сукцессии* – смена биоценозов, обусловленная внешними экологическими факторами как климатогенного, так и катастрофического характера. Среди них выделяют антропогенные сукцессии – сукцессии, возникающие в результате хозяйственной деятельности человека.

В табл. 2.3 приведены некоторые основные формы динамики экосистем.

**Таблица 2.3. Некоторые основные формы годичной, многолетней и вековой динамики экосистем (по Ю. Исакову)**

Форма динамики	Причины флуктуаций и сукцессий
1	2
Флуктуации: биогенные  климатогенные	Внутренние закономерности динамики популяций организмов, корректируемые погодичными особенностями климата Погодичные или короткоцикличные изменения гидротермических показателей
Сукцессии: развития  восстановления  циклические со сменной режимов функционирования  гологенетические, филогенетические  многолетнециклические, климатогенные катастрофические	Внутренние противоречия, возникающие в результате средообразующей деятельности биоты Исчезновение причин, вызвавших нарушение организации экосистем Разрешение внутренних противоречий, возникающих в процессе средообразующей деятельности биоты благодаря чередованию серийных и относительно стабильных стадий Перестройка структуры биоты в результате вековых и многовековых изменений рельефа, климата и почв, а также эволюции видов и возникновения новых форм взаимодействия между ними на консортивном уровне Вековые и многовековые направленные изменения климата (глобальные, региональные) Проявления стихийных природных явлений, часто локальных
Антропогенные, в том числе способные формировать полуприродные экосистемы: пирогенные лесозащитные  пастбищные	Пожары антропогенной природы Вырубка коренных и формирование вторичных лесонасаждений Выпас, вызывающий изменение структуры растительного покрова

1	2
рекреационные	Нарушение растительности и почв в результате массовой рекреации
техно-эдафогенные	Нарушение почвенного покрова и грунта, эрозия, образование отвалов и шлаков при горных разработках, создание новых форм рельефа, снижение уровня грунтовых вод
токсикогенные	Загрязнение атмосферы, водоемов и почв токсичными или несвойственными данной среде веществами
интродукционные	Намеренная или случайная интродукция видов животных, растений или микроорганизмов, несвойственных данным экосистемам
Направленное и непреднамеренное преобразование абиотических компонентов экосистем	Мелиорация, орошение, регулирование стока рек и другие мероприятия

Какой бы ни была природа сукцессий, существует ряд общих закономерностей.

1. На начальных стадиях сукцессии видовое разнообразие невелико, продуктивность и биомасса малы. Эти показатели возрастают по мере развития сукцессии. Разнообразие видов формирует сукцессию, ее направление, обеспечивает заполненность реального пространства жизнью. Значение разнообразия функционально как в статике, так и в динамике. Следует отметить, что там, где разнообразие видов недостаточно для формирования биосферы, служащей основой нормального естественного хода сукцессионного процесса, и сама среда резко нарушена, сукцессия не достигает фазы климакса, а заканчивается узловым сообществом – **параклимаксом** – новым устойчивым сообществом, возникшим в результате внешних разрушительных воздействий (депрессии) на климакс старого сообщества. Чем глубже нарушенность среды того или иного пространства, тем на более ранних фазах оканчивается сукцессия.

При потере одного или группы видов в результате их уничтожения (вымирание, естественное или антропогенное исчезновение местообитаний) достижение климакса не является полным восстановлением природной обстановки. Фактически это новая экосистема, потому что в ней возникли новые связи,



утрачены многие старые, сложились иные формы межвидовых отношений. В старое состояние экосистема вернуться уже не может, так как утраченный вид восстановить невозможно.

По закону *эволюционно-экологической необратимости* экосистема, потерявшая часть своих элементов или сменившаяся другой в результате дисбаланса экологических компонентов, не может вернуться к первоначальному своему состоянию в ходе сукцессии, если в процессе изменений произошли эволюционные (микроэволюционные) перемены в экологических элементах (сохранившихся или временно утраченных). В том случае, когда какие-то виды утрачены в промежуточных фазах сукцессии, данная потеря может быть функционально скомпенсирована, но не полностью. При снижении разнообразия за критический уровень ход сукцессии искажается, и фактически климакс, идентичный прошлому, не может быть достигнут.

2. С развитием сукцессионного ряда:

- увеличивается количество взаимосвязей между организмами. Особенно возрастает количество и роль симбиотических отношений, полнее осваивается среда обитания, усложняются цепи и сети питания;

- уменьшается количество свободных экологических ниш, и в климаксом сообществе они либо полностью отсутствуют, либо находятся в минимуме. В связи с этим по мере развития сукцессии уменьшается вероятность всплеск численности отдельных видов;

- интенсифицируются процессы круговорота веществ, потока энергии и дыхания экосистемы.

3. Скорость сукцессионного процесса в большей мере зависит от продолжительности жизни организмов, играющих основную роль в сложении и функционировании экосистем.

4. Неизменяемость завершающих (климаксных) стадий сукцессий относительна, так как динамические процессы в них не останавливаются, а только замедляются. Продолжаются динамические процессы, обусловленные изменениями среды обитания, сменой поколений организмов и другими явлениями, причем относительно большой удельный вес занимают процессы циклического (флуктуационного) типа.

5. В зрелой стадии климаксного сообщества биомасса обычно достигает максимальных или близких к ним значений.

По мере прохождения сукцессии все большая доля доступных питательных веществ накапливается в биомассе сообщества, и соответственно уменьшается их содержание в абиотическом компоненте экосистемы (почве, воде).

Возрастает также количество образующегося детрита. Главными первичными консументами становятся не травоядные, а детритоядные организмы. Соответствующие изменения происходят и в трофических сетях. Детрит становится основным источником питательных веществ.

Другими словами, продуктивность экосистем на климаксных стадиях сукцессий высока и, как правило, максимальна вследствие более полного освоения пространства. Однако возможность изъятия человеком первичной продукции в этом случае лимитируется включением ее в цепи питания консументов.

Таким образом, сукцессия является обязательным процессом саморазвития экосистем. В основе сукцессии лежит неполнота биологического круговорота в данном биоценозе. Известно, что живые организмы в результате жизнедеятельности меняют вокруг себя среду, изымая из нее часть веществ и насыщая ее продуктами метаболизма. При сравнительно длительном существовании популяций они меняют свое окружение в неблагоприятную сторону и как результат оказываются вытесненными популяциями других видов, для которых вызванные преобразования среды являются экологически выгодными. В биоценозе происходит смена господствующих видов, экосистема эволюционирует.

Длительное существование экосистемы возможно лишь в том случае, если изменения среды, вызванные деятельностью одних живых организмов, благоприятны для других, с противоположными требованиями.

Отличие эволюции экосистем от сукцессий заключается в том, что в ходе эволюции появляются новые комбинации видов и вырабатываются новые механизмы их сосуществования.

**Эволюция экосистем** отличается от эволюции организмов, т.е. экосистемы не эволюционируют как целостности. Эволюция экосистем выражается в возникновении новых видовых сообществ, которых в природе ранее еще не было. Эволюция экосистем протекает как сеткообразный процесс, который складывается из более или менее независимой эволюции видов, входящих в их состав (Р. Уиттекер, 1980).

Эволюция экосистем может быть природной (естественной) и антропогенной. Природная эволюция протекает в геологическом масштабе времени. Итогом природной эволюции является разнообразие экосистем, формирующих биосферу.

*Природная эволюция экосистем*, как и сукцессия, может быть не только прогрессивной, характеризующейся их усложнением за счет обогащения видового состава, но и регрессивной, при которой происходит обеднение состава биоты экосистемы. Природная регрессивная эволюция экосистемы обычно связана с той или иной природной катастрофой, в результате которой исчезает большинство составляющих ее биоту видов, прежде всего, в следствии изменения их среды обитания. Однако этот вид регрессивной эволюции является таковым для данной экосистемы. В целом же для эволюции биосферы это в любом случае является прогрессом: процесс функционирования биосферы сохраняется, как и ее целостность.

*Антропогенная эволюция экосистем* связана с хозяйственной деятельностью человека и в настоящее время практически вытеснила природную. Это связано с тем, что скорость протекания антропогенной эволюции экосистем несоизмерима с природной. Скорость природной эволюции экосистем протекала в масштабах тысячелетий, тогда как биологическая скорость антропогенной эволюции исчисляется десятилетиями, в лучшем случае – столетием. К сожалению, на современном этапе развития науки невозможно предвидеть все проявления и последствия антропогенной эволюции экосистем, а следовательно, и биосферы в целом. Считается, что антропогенная эволюция экосистем является регрессивной.

По типу процессов антропогенная эволюция экосистем разделяется на два класса: целенаправленная и стихийная. Результатом **ц е л е н а п р а в л е н н о й** антропогенной эволюции экосистем является создание искусственных экосистем: агроэкосистем, садово-парковых ансамблей, устричных ферм и др. Однако целенаправленное формирование искусственных экосистем неизбежно сопровождается их стихийной эволюцией, так как происходит спонтанное внедрение некоторых видов, подавить которое человек не в состоянии.

*С т и х и й н а я* антропогенная эволюция экосистем играет бóльшую роль, чем целенаправленная. Она более разнообразна и, как правило, имеет регрессивный характер: ведет к снижению биологического разнообразия и продуктивности экосистем.

Основу стихийной антропогенной эволюции составляет появление в экосистемах видов, непреднамеренно (реже преднамеренно) занесенных человеком из других районов. Занос-

ные виды называются *адвентивными*, а процесс внедрения (инвазии) адвентивных видов в экосистемы – *адвентивизацией*.

Причиной расселения адвентивных видов является антропогенное нарушение процессов саморегуляции экосистем при отсуствии видов-антагонистов (Ч. Элтон, 1960).

Результат антропогенной эволюции\* экосистем:

- уничтожение видов или снижение их генетического разнообразия;
- смещение границ природных зон;
- возникновение новых экосистем, устойчивых к влиянию человека (например, экосистем сбитых пастбищ с обедненным видовым богатством);
- формирование новых сообществ на антропогенных субстратах при их естественном зарастании или рекультивации.

## 2.4. Средообразующие факторы экосистемы

В экосистеме все организмы существуют в определенной среде, которая сформирована рядом экологических факторов, одни из которых по отношению к живым организмам являются вредными, другие – безразличными.

**Экологические факторы** – это любые элементы среды, способные оказывать влияние на живые организмы, или это те элементы окружающей среды, которые вызывают у живых организмов и их сообществ приспособительные реакции (адаптации).

Влияние факторов среды определяется, прежде всего, их воздействием на обмен веществ у организмов. Каждый экологический фактор характеризуется определенными количественными показателями (например, силой и диапазоном действия).

Для разных видов растений и животных условия, в которых они особенно хорошо себя чувствуют, неодинаковы. Некоторые растения предпочитают очень влажную почву, другие – относительно сухую. Одни требуют сильной жары, другие лучше переносят более холодную среду и т.д.

Интенсивность экологического фактора, наиболее благоприятная для жизнедеятельности организма, называется *оптимумом*, а дающая наихудший эффект – *пессимумом*, т.е. ус-

---

\* Механизм и значение антропогенной эволюции экосистем более подробно будет рассмотрен в последующих главах.

ловия, при которых жизнедеятельность организма максимально угнетается, но он еще может существовать.

При выращивании растений в условиях различных температур точка, при которой наблюдается максимальный рост, и будет оптимумом. В большинстве случаев это некий диапазон температур, составляющий несколько градусов, поэтому принято говорить о *зоне оптимума*.

Весь интервал того или иного фактора, от минимального до максимального, при котором еще возможен рост, называют *диапазоном устойчивости* (*выносливости*) или *толерантностью*. Точки, ограничивающие его, т.е. максимальная и минимальная пригодная для жизни температура, – это *пределы устойчивости*.

Между зоной оптимума и пределами устойчивости по мере приближения к последним растение испытывает все нарастающий стресс, т.е. речь идет о *стрессовых зонах*, или *зонах угнетения* в рамках диапазона устойчивости (рис. 2.10).

По мере удаления от оптимума вниз и вверх по шкале усиливается стресс, в конечном итоге по достижении пределов устойчивости организма происходит его гибель. Подобные эксперименты можно провести и для проверки влияния других факторов. Результаты графически будут соответствовать кривой подобного же типа. Повторяемость наблюдаемых тенденций дает возможность сделать заключение, что здесь речь идет о фундаментальном биологическом принципе. Для каждого вида организмов существуют оптимум, стрессовые зоны и пределы устойчивости или выносливости в отношении каждого средового фактора.

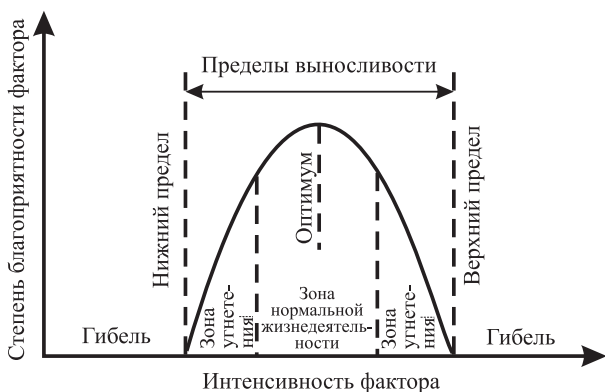


Рис. 2.10. Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности

При значениях фактора, близких к пределам выносливости (толерантности), организм обычно может существовать лишь непродолжительное время. В более узком интервале условий возможно длительное существование и рост особей. Еще в более узком диапазоне происходит размножение, и вид может существовать неограниченно долго. Обычно где-то в средней части диапазона устойчивости имеются условия, наиболее благоприятные для жизнедеятельности, роста и размножения. Эти условия называют *оптимальными*, в которых особи данного вида оказываются наиболее приспособленными, т.е. оставляют наибольшее число потомков. На практике выявить такие условия сложно, и обычно определяют оптимум для отдельных показателей жизнедеятельности – скорости роста, выживаемости и т.п.

Отношение организмов к колебаниям того или иного определенного фактора выражается прибавлением к названию фактора приставки «эври-» (от греч. *eurys* – широкий) или «стено-» (от греч. *stenos* – узкий).

**Эврибионты (эвриваленты)** – организмы (виды) с высокой экологической пластичностью, способные выдерживать широкие колебания экологических факторов без потери функционального места в экосистеме.

**Стенобионты (стеноваленты)** – организмы с узкой экологической пластичностью, способные выдерживать достаточно узкие колебания экологических факторов без потери функционального места в экосистеме.

Например, по отношению к температуре различают *эври-* и *стенотермные* организмы, к концентрации солей – *эври-* и *стеногалинные*, к свету – *эври-* и *стенофотные* и др. По отношению ко всем факторам среды эврибионтные организмы встречаются редко. Чаще всего эври- или стенобионтность проявляется по отношению к одному конкретному фактору.

Растение, являясь эвритермным, одновременно может относиться к стеногигробионтам, т.е. быть менее стойким относительно колебаний влажности.

Эврибионтность, как правило, способствует широкому распространению видов. Многие простейшие, грибы (типичные эврибионты) являются космополитами и распространены повсеместно.

Стенобионтность обычно ограничивает ареалы. В то же время, нередко благодаря высокой специализированности, стенобионтам принадлежат обширные территории.

Свойство видов адаптироваться к тому или иному диапазону факторов среды обозначается понятием *экологическая пластичность* (*экологическая валентность*) вида. Чем шире диапазон колебаний экологического фактора, в пределах которого данный вид может существовать, тем больше его экологическая пластичность (рис. 2.11).

Все факторы среды взаимосвязаны, и среди них нет абсолютно безразличных для любого организма. Популяция и вид в целом реагируют на эти факторы, воспринимая их по-разному. Такая избирательность обуславливает и избирательное отношение организмов к заселению той или иной территории.

Традиционно многообразие экологических факторов среды обитания объединяют в группу абиотических, биотических и антропогенных факторов.

**Абиотические факторы** (связанные с мертвым веществом) подразделяются на *физические*, или *климатические* (свет, температура воздуха и воды, влажность воздуха и почвы, ветер); *эдафические*, или *почвенно-грунтовые* (механический состав почв, их химические и физические свойства); *топографические*, или *орографические* (особенности рельефа местности), *химические* (соленость воды, газовый состав воды и воздуха, концентрация водородных ионов (рН) почвы и воды и др.).

**Биотические факторы** (связанные с живым веществом) представляют собой разнообразные формы влияния одних организмов на жизнедеятельность других. При этом одни организмы могут служить пищей для других (например, растения – для животных, жертва – для хищника), быть средой обитания

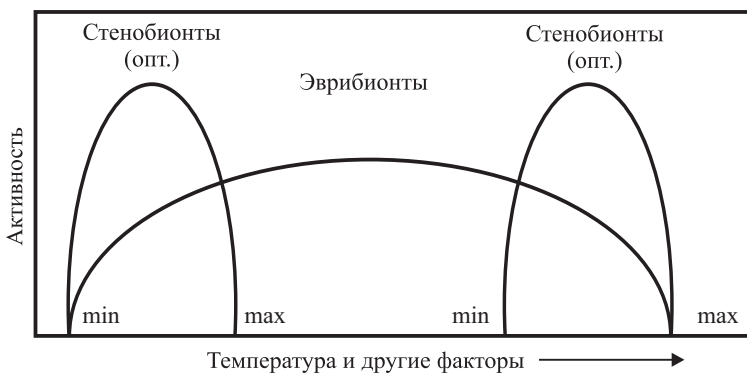


Рис. 2.11. Экологическая пластичность видов (по Ю. Одуму, 1975)

(например, хозяин – для паразита), способствовать размножению и расселению (например, птицы и насекомые-опылители – для цветковых растений), оказывать механические, химические и другие воздействия.

**Антропогенные (антропические) факторы** – это все формы деятельности человеческого общества, изменяющие природу как среду обитания живых организмов или непосредственно влияющие на их жизнь. Выделение антропогенных факторов в отдельную группу обусловлено тем, что в настоящее время судьба растительного покрова Земли и всех ныне существующих видов организмов практически находится в руках человеческого общества.

Существует ряд классификаций экологических факторов. В табл. 2.4 приведены разные подходы к классификации экологических факторов.

*Таблица 2.4. Различные подходы к классификации экологических факторов*

Экологические факторы		
Абиотические		Биотические
Свет, температура, влага, ветер, воздух, давление, течения, долгота дня и т.д. Механический состав почвы, ее проницаемость, влагоемкость Содержание в почве или воде элементов питания, газовый состав, соленость воды		Влияние растений на других членов биоценоза Влияние животных на других членов биоценоза Антропогенные факторы, возникающие в результате деятельности человека
По времени	По периодичности	По очередности
Эволюционный Исторический	Периодический Непериодический	Первичный Вторичный
По происхождению	По среде возникновения	
Космический Абиотический (абиогенный) Биогенный Биотический Биологический Природно-антропогенный Антропогенный (в том числе техногенный), загрязнение среды (в том числе фактор беспокойства)	Атмосферный Водный (влажности) Геоморфологический Эдафический Физиологический Генетический Популяционный Биоценотический Экосистемный Биосферный	



Большинство экологических факторов (температура, влажность, ветер, наличие пищи, хищники, паразиты, конкуренты и т.д.) отличаются значительной изменчивостью во времени и пространстве. Степень изменчивости каждого из этих факторов зависит от особенностей среды обитания. Например, температура сильно варьирует на поверхности суши, но почти постоянна на дне океана или в глубине пещер. Паразиты млекопитающих живут в условиях избытка пищи, тогда как для большинства хищников ее запасы меняются в соответствии с ростом или снижением численности жертв. Изменение факторов среды наблюдается в течение года и суток, в зависимости от приливов и отливов в океане, при бурях, ливнях, обвалах, похолодании или потеплении климата, зарастании водоемов, постоянном выпасе скота на одном и том же участке и т.д.

Один и тот же фактор среды имеет разное значение в жизни совместно обитающих организмов. Например, солевой режим почвы играет первостепенную роль в минеральном питании растений, но безразличен для большинства наземных животных. Интенсивность освещения и спектральный состав света исключительно важны в жизни фототрофных растений, но свет не оказывает заметного влияния на жизнедеятельность гетеротрофных организмов (грибов и высших животных).

Экологические факторы действуют на организмы по-разному. Они могут выступать как *раздражители*, вызывающие приспособительные изменения физиологических функций; как *ограничители*, обуславливающие невозможность существования тех или иных организмов в данных условиях; как *модификаторы*, определяющие морфологические и анатомические изменения организмов.

### 2.4.1. Абиотические факторы

*Абиотические факторы среды* – это такие силы и явления природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов.

Абиотические факторы в значительной мере определяют свойства и качество биосферы. В своем взаимодействии со средой все организмы должны поддерживать известное равновесие, или *гомеостаз*.

Потребность того или иного вида, например в тепловой или лучистой энергии, расходуемой на процессы жизнедеятельности, должна находиться в строгом соответствии с нали-

чием данного ресурса в данном месте в данное время и поступлением его извне или образованием внутри организма. Нарушение баланса между поступлением и расходом необходимого ресурса неизбежно ведет к летальным последствиям для организма.

Абиотические факторы действуют на организм разными путями. В самом простом случае имеет место простое влияние: без прямого воздействия солнечного света в зеленом растении прекращается фотосинтез, солнечные лучи действуют на лежащую на камне ящерицу, и ее тело нагревается и т.д. Чаще абиотические факторы влияют на организмы опосредованно или косвенно, причем порой через многие промежуточные звенья. Например, длительное сочетание высокой температуры воздуха с его низкой влажностью и отсутствием осадков приводит к засухе, что не раз наблюдалось практически во всех широтах планеты. В результате засухи на обширных пространствах выгорает травянистая растительность, гибнут деревья и кустарники. Травоядные животные либо погибают, либо вынуждены мигрировать на значительные расстояния. Это, в свою очередь, сказывается на состоянии популяций хищников и трупоедов, их поведении и образе жизни.

Результаты влияния абиотических факторов могут сильно различаться в зависимости от того, как они действуют – раздельно или в совокупности. Например, зимой даже не очень сильный мороз при высокой влажности воздуха и наличии ветра становится весьма ощутимым, а во многих случаях опасным, так как такое сочетание климатических факторов ведет за собой повышенное излучение теплоты с поверхности тела и может привести к значительному переохлаждению организма вплоть до его гибели. Даже летом во время дождя мелкие хищные животные с интенсивным обменом веществ после полного намочения шерсти нередко погибают от переохлаждения.

Основными абиотическими факторами принято считать:

- *химические* (химический состав атмосферы, воды, почвы, донных отложений, засоление почвы, кислотность почвы и др.);
- *физические*, или *климатические* (свет, температура, влажность, осадки и др.);
- *эдафические* (факторы почвы: механическая структура и химический состав, влагоемкость, уровень грунтовых вод, воздушный и тепловой режим, газовый состав, влажность, кислотность и др.);

- *орографические* (рельеф местности, экспозиция склона, высота над уровнем моря и др.);
- *гидрографические* (факторы воды: прозрачность, текучесть, проточность, температура, кислотность, газовый состав, содержание минеральных и органических веществ и др.);
- *атмосферные* (факторы атмосферы: газовый состав, влажность, ингредиенты загрязнения и др.);
- *пирогенные* (воздействие огня).

### **2.4.1.1. Климатические (физические) факторы**

**Климат** является результатом физических климатообразующих процессов, непрерывно протекающих в атмосфере и в деятельном слое жизни (приток, преобразование, отдача и перенос тепловой, кинетической и других форм энергии; испарение, конденсация, перенос влаги и т.п.).

На климат влияют, прежде всего, такие естественные основные факторы, как географическая широта, высота над уровнем моря, распределение суши и воды, горы, морские течения, общая циркуляция атмосферы, местные ветры, циклоны. Дополнительными факторами, влияющими на климат, могут быть местный рельеф суши, характер обработки и использования селитебной территории человеком, наличие и характер растительного покрова, снежный покров и др. В настоящее время существенным климатообразующим фактором является функционирование человеческой цивилизации.

В *эколого-климатическую характеристику* местности входят: среднегодовые величины и сезонные (помесячные) колебания температуры, ее суточный ход, абсолютные минимумы и максимумы; сроки перехода температуры через 0°; количество осадков, испаряемость влаги; сила и направление ветров; влажность воздуха; число дней солнечного сияния, суммарная солнечная радиация, радиационный баланс и др.

Выделяют макроклимат, мезоклимат и микроклимат.

*Макроклимат* – это климат обширных территорий и акваторий с известной целостностью и однородных по условиям циркуляции атмосферы (материки, океаны, Земля в целом). Например, тропический, арктический климат и др.

Макроклимат в большой степени определяет распространение организмов, положение и размеры их ареалов, формирование ландшафтной структуры территорий, облик глобальных

природных зон – биомов. Экосистемы и вся биота Земли оказывают заметное влияние на макроклимат, участвуя в преобразованиях энергии и круговоротах веществ в атмосфере.

*Мезоклимат* – климат сравнительно небольших территорий, достаточно однородных по природным условиям (лесной массив, поляна, долина, город, побережье и пр.), накладывающийся на общеклиматические (макроклимат) условия.

*Микроклимат* – климат на уровне организма.

Все виды климата формируются *климатическими факторами*. К основным климатическим факторам относятся свет, температура и влажность.

**Свет.** В узком смысле это электромагнитные волны в интервале частот, воспринимаемых человеческим глазом ( $4,0 \cdot 10^{14}$ – $7,5 \cdot 10^{14}$  Гц), в широком смысле – электромагнитные волны с длиной в диапазоне от 1 нм до 1 мм. Свет является первичным источником энергии в биосфере. Без света не возможно существование жизни на Земле.

Поток солнечной энергии определяет продуцирование живой материи. Поэтому свет – не только необходимый, но и лимитирующий фактор как на минимальном, так и на максимальном уровне диапазона его действия.

Солнце излучает огромное количество энергии. Световое излучение представляет собой электромагнитные волны различной длины.

Лучистая (световая) энергия Солнца необходима для осуществления фундаментального процесса биосферы, который происходит в листьях автотрофных зеленых растений нашей планеты, – фотосинтеза.

**Фотосинтез** – это процесс образования органического вещества из неорганических веществ – углекислого газа и воды на свету в хлоропластах листьев зеленых растений с выделением кислорода. В процессе фотосинтеза лучистая энергия Солнца трансформируется (превращается) в энергию химических связей органических веществ, которые при этом образуются. За счет энергии Солнца, заключенной в энергии химических связей органических веществ (продуктов фотосинтеза), происходит питание растений и осуществляется жизнедеятельность всех живых организмов. Источником энергии для человека является пища, в которой также заключена энергия Солнца. Количество пищи на Земле определяется чистой первичной продукцией растений.

Космическая роль фотосинтеза состоит в консервации солнечной энергии в макроэргических химических связях и использовании ее для построения разнообразных органических веществ. Фотосинтез является источником свободного кислорода для дыхания человека, животных и растений. Благодаря фотосинтезу образовался защитный озоновый экран Земли. Фотосинтез поддерживает баланс углекислого газа и кислорода в атмосфере.

Процесс фотосинтеза описывается суммарным уравнением

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{энергия солнечного света} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2.$$

Это общее уравнение фотосинтеза показывает начальные и конечные продукты реакции, но не отражает всей сложности данного процесса. На самом деле восстановление  $\text{CO}_2$  и образование углеводов происходит многоступенчато, через множество промежуточных реакций в хлоропластах зеленых растений.

Помимо участия в фотосинтезе свет оказывает непосредственное влияние на рост и развитие растений, процессы дифференциации в клетках и тканях, образование органов. Для жизни растений очень важно, что в процессе фотосинтеза они продуцируют больше веществ, чем им необходимо расходовать для дыхания. За счет этого образуется положительный баланс веществ, без которого невозможно осуществление роста и развития организмов.

От светового режима зависит характер роста и развития растений. При полном освещении подавляются ростовые процессы и ускоряются процессы развития.

Свет (в отличие от тепла) оказывает огромное формирующее влияние на облик растения. Деревья, выросшие в лесу, сильно отличаются по строению ствола и кроны от свободно стоящих деревьев. Лесные деревья имеют ровный, хорошо очищенный от сучьев, почти цилиндрический ствол и небольшую высокоподнятую крону. Деревья, растущие на свету, имеют конический ствол, близко от земли разветвляющийся на толстые сучья, и широкую крону. При одностороннем освещении крона дерева получает флагообразное развитие.

Свет влияет на структуру растительных сообществ. Морфология листьев и структура растительного покрова приспособлена для наиболее эффективного восприятия солнечной энергии. Светопоглощающая поверхность листьев земной флоры колоссальна: она в четыре раза больше поверхности Земли.

При создании группировок разных видов растений в зеленом строительстве необходимо строго учитывать их отношение к свету. Без такого учета растительная группировка будет нежизнеспособной.

Свет влияет на активность разных таксонов животных. Распространение водных растений, океанических животных и планктона ограничено областью проникновения солнечных лучей. Животные и растения реагируют на изменение длины волны света. Свет вызывает изменение влажности и температуры окружающей среды. Он является важным сигнальным фактором, обеспечивающим протекание суточных и сезонных биологических циклов (фотопериодизм).

Поток солнечной энергии – единственный источник энергии для биосферы. Почти всю радиационную энергию от Солнца Земля получает на верхней границе атмосферы (90%). Длина световых волн, достигающих атмосферы, варьирует от 200 до 4000 нм.

**Единицами измерения длины световых волн** в международной системе единиц (СИ) являются *микрометр* (мкм) и *нанометр* (нм):

- $1 \text{ мкм} = 10^{-3} \text{ мм} = 10^{-4} \text{ см} = 10^3 \text{ нм}$ ;
- $1 \text{ нм} = 10^{-6} \text{ мм} = 10^{-7} \text{ см} = 10 \text{ ангстрем} (\text{А}) = 10^{-10} \text{ м}$ .

Солнце излучает в космическое пространство огромное количество электромагнитных волн разной длины и частоты. Спектр распределения энергии Солнца за пределами земной атмосферы показывает, что около 50% солнечной энергии излучается в инфракрасной области, 40% – в видимой и 10% – в рентгеновской и ультрафиолетовой областях. Земная атмосфера, включая озоновый слой, избирательно по частотным диапазонам поглощает энергию электромагнитного излучения Солнца, поэтому до поверхности Земли доходит в основном излучение с длиной волны от 200 до 4000 нм.

Огромное количество световой энергии Солнца уходит за пределы солнечной системы. До поверхности атмосферы Земли, пройдя путь более 150 млн км, доходит только одна двухмиллиардная часть лучистой энергии, испускаемой Солнцем.

Плотность потока солнечного излучения, достигающего пределов земной атмосферы, составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ . Эта величина называется **солнечной постоянной**. Часть поступившей солнечной энергии отражается в космическое пространство, другая часть поглощается толщей атмосферы и используется на ее нагрев (44%). Около 50% солнечной радиации идет на

испарение воды и осуществление большого геологического круговорота воды. При конденсации влаги выделяемая теплота используется на нагрев воздуха, воды, почвы, на обусловленные этим нагревом конвективные процессы в атмосфере и гидросфере (ветры, течения). На образование озона используется 5% солнечной радиации. В процессе фотосинтеза все растения нашей планеты улавливают в среднем около 1% энергии приходящего солнечного излучения, причем на создание органического вещества в процессе фотосинтеза затрачивается всего 0,1–0,2% падающей на Землю солнечной энергии.

Итоговый радиационный баланс прихода солнечной энергии к поверхности Земли варьирует от 15 Вт/м<sup>2</sup> в субполярных широтах и до 120 Вт/м<sup>2</sup> в тропических.

При прохождении солнечного излучения через атмосферу его спектр значительно изменяется. В верхних слоях атмосферы (преимущественно озоновым слоем) поглощается коротковолновое ультрафиолетовое излучение, опасное для жизни, а в нижележащих слоях атмосферы (преимущественно облачным покровом) поглощается инфракрасное излучение. На верхней границе атмосферы максимум энергии солнечного света отмечается при 470 нм (в синей части). На поверхности Земли при высоком летнем солнцестоянии максимум энергии приходится на желтую часть спектра, а при низком положении солнца – на красную.

Верхний предел жесткости энергетического спектра солнечного света, к которому приспособлено большинство живых организмов, соответствует длинам волн 280–290 нм. Для всех живых организмов Земли сложившийся за миллионы лет радиационный баланс является необходимым условием жизнедеятельности.

Поверхности Земли достигают три вида солнечного излучения:

- *ультрафиолетовые коротковолновые лучи* с длиной волн < 400 нм, составляющие 10% суммарной солнечной радиации. Они оказывают губительное действие на живые организмы;
- *видимые лучи* с длиной волн от 380 до 760 нм, составляющие 45% суммарной солнечной радиации;
- *инфракрасные лучи* (или *ближняя инфракрасная радиация* – БИКР) с длинами волн 760–4000 нм, составляющие 45% суммарной солнечной радиации.

Солнечная энергия, которую зеленые растения поглощают и используют в процессе фотосинтеза, называется *фотосинтетически активной радиацией* (ФАР). ФАР – это такая ради-



ация, квант которой, поглощаясь молекулой хлорофилла, приводит ее в возбужденное состояние. Понятие о ФАР ввел в науку русский ученый Л.А. Иванов (1918), развил и широко внедрил его А.А. Ничипорович (1956). Длина волн ФАР лежит в спектральном диапазоне 370–720 нм. Диапазон плотности светового потока (освещенности), в пределах которого разные растения могут осуществлять фотосинтез, варьирует от 5 до 350 Вт/м<sup>2</sup>.

От интенсивности солнечного освещения зависит продуктивность растений. Установлено, что для растений наиболее продуктивны не прямые солнечные лучи, падающие на земную поверхность перпендикулярно, а рассеянные солнечные лучи. Прямая солнечная радиация в зависимости от высоты Солнца над горизонтом содержит в среднем 28–43% ФАР, а рассеянная солнечная радиация составляет 50–60% ФАР. Рассеянный свет поглощается растениями почти полностью, а коэффициент его использования намного больше, чем прямого света.

Каждое местообитание характеризуется определенным **световым режимом**, т.е. соотношением интенсивности (силы), количества и качества света. Показатели светового режима очень изменчивы и зависят от географического положения и рельефа местности, высоты ее расположения над уровнем моря, типа растительности, состояния атмосферы, времени года и суток и других факторов.

*Интенсивность света* (или *сила света*) измеряется количеством энергии (ккал), приходящейся на единицу площади горизонтальной поверхности (1 см<sup>2</sup>) в единицу времени (1 мин). Для прямых солнечных лучей этот показатель почти не изменяется в зависимости от географической широты. Наиболее сильно на него влияют особенности рельефа местности: на южных склонах интенсивность света всегда больше, чем на северных. Самым интенсивным является прямой солнечный свет, но менее интенсивный рассеянный свет используется растениями наиболее полно.

*Количество света*, определяемое *суммарной радиацией*, увеличивается от полюсов к экватору, что сопровождается изменениями его спектрального состава. Освещенность выражается в люксах (лк). Для определения светового режима необходимо учитывать также альбедо.

*Альбедо* – это количество отражаемого света. Оно выражается в процентах от общей радиации и зависит от угла падения лучей и свойств отражающей поверхности. На открытых ме-



стах растения кроме прямого и рассеянного (бокового) света получают также свет, отраженный от поверхности почвы, а зимой – от снега, т.е. *нижний свет*. Снежная поверхность отражает в среднем до 30% света, а чистый снег – до 85% суммарного солнечного света, причем спектральный состав отраженного света почти не меняется. Альbedo зеленых листьев клена составляет 10%, а осенних пожелтевших листьев – 28%. При этом растения отражают в основном физиологически неактивные лучи. Зеленый луговой травостой отражает 4% поступающего на луга света, преимущественно длинноволновой части спектра. Особенно интенсивен нижний свет на южных склонах берегов рек, озер и морей, где в солнечный день он может составлять 35–85% от прямого света. Различные виды растений по-разному отражают и пропускают свет, поэтому световой режим в сообществах растений (фитоценозах) неодинаков.

**Температура.** Из всех климатических факторов, связанных с энергетикой биосферы, наибольшее экологическое значение имеет температура. Она оказывает существенное влияние на энергетику биоты.

Значение температуры заключается и в том, что она изменяет скорость протекания физико-химических процессов в клетках, отражающуюся на всей жизнедеятельности организмов. Температура влияет на анатомо-морфологические особенности организмов, ход физиологических процессов, их рост, развитие, поведение и во многих случаях определяет географическое распространение растений и животных.

Температура воздуха на Земле занимает диапазон от  $-88,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (станция «Восток», Антарктида) до  $+58,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Гарьян, Ливия). Средняя годовая температура слоя воздуха над континентами и океаном (исключая Антарктиду)  $+15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Большие колебания относятся к отдельным поясам и сезонам. Средняя температура массы гидросферы  $+3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Максимальный температурный диапазон активной жизни чуть меньше диапазона жидкого состояния воды. Для большинства многоклеточных организмов он составляет от  $0$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Диапазон температур, в котором клетки и многие организмы способны длительное время находиться в неактивном состоянии, существенно больше: от  $0$  до  $271,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Переживание при температуре намного ниже точки замерзания жидкостей тела (*криобиоз*) хорошо известно для семян и спор, у низших беспозвоночных, у некоторых рыб и амфибий, а также в изолированных клетках высших животных и человека.

Согласно фундаментальной физико-химической закономерности скорость химических реакций существенно зависит от температуры и, как правило, увеличивается в 2–3 раза при возрастании температуры на 10° (*правило Вант-Гоффа*). Этому правилу подчиняется подавляющее большинство процессов в живых организмах, основанных на молекулярных реакциях, в том числе и сложные цепи биохимических реакций на клеточном уровне.

Если скорость  $V_T$  реакции измерена при двух температурах  $T_1$  и  $T_2$ , причем  $T_1 < T_2$ , то температурный коэффициент Вант-Гоффа:

$$Q_{10} = V_2 / V_1^{10/\Delta T}.$$

Зависимость скорости реакции от температуры может быть выражена уравнением Аррениуса:

$$V_T = A_V \left[ \exp(-E^*/RT) \right],$$

где  $A_V$  – фактор частоты событий, называемый также константой Аррениуса;  $E^*$  – энергия активации данной реакции, необходимая для преодоления потенциального барьера реакции, Дж/моль;  $R$  – газовая постоянная, равна 8,3144 Дж/(моль·К);  $T$  – абсолютная температура, К.

В диапазоне температур 15–40 °С (288–313 К) значения  $Q_{10}$  большинства биохимических процессов лежат между 1,5 и 2,5, а значения  $E^*$  – между 30 и 65 кДж/моль.

Исходя из этого правила, скорость химических реакций возрастает в 2–3 раза при повышении температуры на каждые 10 °С. При температурах выше или ниже оптимальных скорость биохимических реакций в организме снижается или вообще нарушается. В итоге происходит замедление темпов роста и даже гибель организма.

Для достижения определенной стадии развития (например, у растений для начала цветения или у насекомых для появления личинок из яиц, окукливания) необходима определенная сумма положительных температур.

По отношению к температуре все организмы подразделяются на две группы: холодолюбивые (криофилы) и теплолюбивые (термофилы).

*Криофилы* способны жить в условиях сравнительно низких температур и не выносят высоких. Они могут сохранять активность при температуре клеток до –10 °С, когда жидкости

их тела находятся в переохлажденном виде. Характерно для представителей разных групп: бактерий, грибов, моллюсков, членистоногих, червей и некоторых растений. Кривофильны населяют холодные и умеренные зоны. Холодостойкость их весьма различна и зависит от условий, в которых они обитают.

Жизнедеятельность *термофилов* приурочена к условиям довольно высоких температур. Они не переносят низких температур и нередко гибнут уже при 0 °С, хотя физического замораживания их тканей и не происходит. Причинами гибели здесь считают нарушение обмена веществ и подавление физиологических процессов, что приводит к образованию в тканях не свойственных им продуктов, в том числе токсикантов.

Таким образом, общие закономерности воздействия температуры на живые организмы проявляются в их способности существовать в определенном диапазоне температур. Этот диапазон ограничен *нижней* и *верхней летальной* температурами.

Температура, наиболее благоприятная для жизнедеятельности и роста, называется *оптимальной*.

В пределах от верхних оптимальных до верхних максимальных и от нижних минимальных до нижних оптимальных температур лежат диапазоны верхнего и нижнего *пессимумов*.

Развитие растений при температурном *пессимуме* осуществляется замедленными темпами и затягивается на длительное время. Активность животных также ограничивается *пессимумами*.

Крайние минимальные и максимальные температуры нижнего и верхнего *пессимумов* называются соответственно *нижним* и *верхним порогом развития*, или *нижним* и *верхним биологическим нулем*, за пределами которого развитие организма не происходит.

Температуры, лежащие выше нижнего порога развития и не выходящие за пределы верхнего, получили название *эффективных температур*. Для растений и эктотермных животных количество тепла, необходимого для развития, определяется суммой эффективных температур, или суммой тепла. Зная нижний порог развития, легко определить эффективную температуру по разности наблюдаемой и пороговой температур. Если нижний порог развития организма равен 10 °С, а реальная в данный момент температура воздуха 25 °С, то эффективная температура будет 15 °С (25°–10°).

Сумма эффективных температур определяется по формуле

$$C = (t - t_1)n,$$

где  $C$  – сумма эффективных температур;  $t$  – температура окружающей среды (реальная, наблюдаемая);  $t_1$  – температура порога развития;  $n$  – продолжительность (длительность) развития в днях, часах.

Сумма эффективных температур для каждого вида растений и эктотермных животных, как правило, величина постоянная, если другие условия среды находятся в оптимуме и отсутствуют иные осложняющие факторы.

Живые организмы в процессе эволюции выработали различные *формы адаптации к температуре*, среди них морфологические, биохимические, физиологические, поведенческие и т.д.

В зависимости от степени способности поддерживать постоянную температуру тела все живые организмы относятся либо к гомойотермным либо к пойкилотермным.

*Гомойотермные организмы* – теплокровные животные, температура тела которых более или менее постоянна и, как правило, не зависит от температуры окружающей среды. К ним относятся птицы и млекопитающие. По способу получения тепла они являются *эндотермами*, т.е. сохраняют постоянную температуру тела за счет внутренней энергии метаболизма.

Эти организмы располагают средствами эффективной регуляции теплоотдачи и теплопродукции организма. У некоторых из них соответствующие механизмы достигают высокой специфичности и совершенства. Например, песец, полярная сова и белый гусь легко переносят сильный холод без падения температуры тела при поддержании разности температур тела и среды в 100 °С и более. Благодаря толщам подкожного жира и особенностям периферического кровообращения превосходно приспособлены к длительному пребыванию в ледяной воде многие ластоногие и киты.

В то же время почти все эндотермы плохо переносят значительное снижение температуры тела: ее падение ниже +10–+15 °С в большинстве случаев смертельно. Только зимующие млекопитающие (некоторые насекомоядные, рукокрылые и грызуны) при определенной физиологической готовности могут преодолевать барьер нижней летальной температуры тела и на длительное время впадать в состояние *гипобиоза*. Это позволяет им переживать время зимних холодов и бескор-

мицы. Состояние гипобиоза сближает зимоспящих с эктотермами, многие из которых приспособлены к переживанию неблагоприятного времени года в неактивном состоянии, вплоть до анабиоза.

*Пойкилотермные организмы* – организмы, температура тела которых меняется в зависимости от температуры окружающей среды и регулируется внешними физико-химическими механизмами. К ним относятся все беспозвоночные животные, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, грибы и растения.

При этом во всем интервале изменений температура тела мало (на уровне десятых долей или не более 1–2 °С) отличается от температуры среды. Эти организмы могут быть обозначены как *эктотермы*, т.е. подчиненные внешней температуре. Некоторые из них обладают ограниченной способностью к кратковременной термостабилизации за счет теплоты биохимических реакций, интенсивной мышечной активности и пр.

Существование в различных температурных диапазонах в связи с климатическими условиями, образом жизни и типом питания накладывает значительный отпечаток на многие стороны морфологии животных.

Существует целый ряд эволюционно закрепленных термоадаптаций у всех живых организмов.

**1. Морфологические адаптации.** Наиболее яркая зависимость между климатическими (температурными) условиями и морфологией организмов была отмечена К. Бергманом (1848) еще в середине XIX в.

*Правило Бергмана* гласит, что в пределах вида или достаточно однородной группы близких видов теплокровные животные с более крупными размерами тела встречаются в более холодных областях.

Наиболее полно это правило справедливо при сопоставлении веса тела таких животных, как медведи, волки, лисицы и многие копытные. В тропических странах представители тех же родов имеют более мелкие размеры тела, чем в умеренном климате и в условиях Севера. Экспериментально показано, что белые мыши, выращенные при температуре +6,1 °С, были крупнее, выращенных при +26,3 °С.

Увеличение размеров пойкилотермных организмов, обитающих в среде с постоянно высокой температурой, не находит такого простого объяснения и обычно связывается с более интенсивным ростом этих организмов в условиях высоких температур среды, с лучшими условиями питания.

Следствием правила Бергмана стало *правило Аллена*, согласно которому выступающие части тела теплокровных животных (конечности, хвост, уши и др.) относительно увеличиваются по мере продвижения от севера к югу в пределах ареала одного вида. Поверхность тела у южных видов млекопитающих увеличена за счет более длинных ушей, хвоста и конечностей. Правило Аллена является весьма важным дополнением к правилу Бергмана.

Однако этими общими морфологическими закономерностями не исчерпывается вся сложность приспособления животных к тропическому и жаркому климату. Немаловажную роль играет цвет шерстного покрова. Светлая окраска многих тропических животных, особенно обитающих в условиях открытых пространств, предохраняет их от прямого нагревания солнечными лучами. У лесных обитателей тропического леса эта защитная окраска отсутствует и наблюдается увеличение содержания пигмента.

Не меньшее значение, чем шерстный покров, имеет и распределение жира в организме. У ряда обитателей юга жировые отложения не занимают всей поверхности тела, как это имеет место у обитателей холодного климата, а расположены локально (например, курдюк овец, разводимых на юге, горб верблюда и индийского рогатого скота зебу). Но жировые отложения у тюленей расположены по поверхности тела и могут составлять до 25% от массы тела. Толщина этого жирового слоя подвержена значительным сезонным колебаниям, причем масса шкуры с жировым слоем может снижаться весной на 60–70%. В весенний период наблюдается физиологическое голодание этих животных, направленное на уменьшение теплоизоляции в летний период.

Распределение полостного жира также имеет адаптивный характер. У сибирского и монгольского крупного рогатого скота наблюдается мощное отложение окологречного жира в сальнике и других частях брюшной полости. Последнее связывают с поеданием животными на зимних пастбищах мерзлого корма и значительным охлаждением при этом брюшных внутренностей. Даже у человека, например у профессиональных ныряльщиц за губками и жемчугом (ама), обнаружено увеличение отложений подкожного жира.

Для пойкилотермных животных также установлен *закон Глогера* (1833), согласно которому виды животных, обитающих в холодных и влажных зонах, имеют более интенсивную

пигментацию тела (чаще всего черную или темно-коричневую), чем обитатели теплых и сухих областей. Это позволяет им аккумулировать достаточное количество тепла.

Растения не имеют собственной температуры тела и по отношению к тепловому фактору обладают определенной спецификой. Температурный фактор на развитие разных форм растений может действовать как непосредственно, так и косвенно, вызывая нарушения водоснабжения и минерального питания. Наиболее чувствительны к действию температурного фактора репродуктивные органы растений.

Одно из важнейших приспособлений к температуре у растений – форма их роста. Там, где теплоты недостаточно, много подушковидных растений, растений с прикорневыми розетками листьев, стелющихся форм. У стланцевых форм карликовой березы, ели, можжевельника и кедровника верхние ветви, поднимающиеся высоко над землей, большей частью полумертвые или мертвые, а стелющиеся – живые, так как зимуют под снегом и не подвергаются отрицательному воздействию низких температур. Все это позволяет растениям улавливать максимум тепла солнечных лучей, а также использовать тепло нагретой поверхности почвы.

Растения жаркого сухого климата способны на длительное время впадать в состояние покоя с тем, чтобы при благоприятных условиях температуры и влажности пройти максимально сокращенную во времени вегетацию.

**2. Физиолого-биохимические адаптации.** Проявляются, прежде всего, в изменении физико-химического состояния веществ, содержащихся в клетках и тканях.

В клетках растений при низких температурах, благодаря увеличению запаса пластических веществ, повышается концентрация растворов, увеличивается осмотическое давление клеточного сока, уменьшается содержание свободной воды, которая трудно испаряется и замерзает, слабо отжимается под давлением, обладает большой плотностью и в значительной степени утрачивает свойство растворителя. Она становится кристаллической по структуре, сохраняя в то же время жидкое состояние. Между частицами цитоплазмы и водой устанавливается единство структуры, обеспечивающее ей свободное включение в структуру макромолекул белков и нуклеиновых кислот. В таком состоянии ее трудно заморозить, перевести в твердое состояние.



Важным приспособлением к низким температурам является и отложение запасов питательных веществ в виде высокоэнергетических соединений – жира, масла, гликогена и др. Известно, что масло, прежде всего, вытесняет воду из вакуоли и этим предохраняет растительный организм от замерзания. Масло, откладываясь в цитоплазме, делает ее более стойкой к морозу и другим неблагоприятным воздействиям зимнего периода. Такую же роль играют откладываемые в протоплазму и вакуоли крахмал и белки.

Большое значение имеют и те биохимические изменения в запасных питательных веществах, которые протекают в период подготовки к зимнему состоянию. Значительная часть накопленного в летний период крахмала вновь превращается в сахар. При этом появляются сахара, которых обычно мало содержится в клетках летом. Например, зимой в клетках тканей коры у хвойных помимо сахарозы, глюкозы и фруктозы появляются стахиоза и рафиноза. В летний период они содержатся в других частях растения.

К тканевым механизмам приспособления к действию низких температур относится своеобразное распределение резервных энергетических веществ в теле организмов за счет перемещения их в органах. У тех или иных видов растений нередко к зиме масла и сахара откладываются в тканях надземных органов, а в подземных органах – крахмал. При этом в районах с очень низкими температурами у растений отмечается значительное накопление масла во внутренних слоях древесины, что повышает их устойчивость к сильным морозам.

У животных с понижением температуры возрастает содержание гликогена в печени, повышается содержание аскорбиновой кислоты в тканях почек. У млекопитающих большое скопление питательных веществ наблюдается в бурой жировой ткани в непосредственной близости от жизненно важных органов – сердца и спинного мозга, что также имеет приспособительный характер. В митохондриях клеток этой ткани при клеточном дыхании не синтезируется аденозинтрифосфат (АТФ), а вся энергия рассеивается в виде тепла.

На основе физиологических процессов многие организмы способны в определенных пределах менять температуру своего тела. Эта способность называется терморегуляцией.

**Терморегуляция** – совокупность физиологических процессов, обеспечивающих поддержание оптимальной для данного вида температуры тела в условиях меняющейся температуры окружающей среды.



Как правило, терморегуляция сводится к тому, что температура тела поддерживается на более постоянном уровне по сравнению с температурой окружающей среды. Особенно совершенны механизмы терморегуляции у эндотермных животных. У гомойотермных животных терморегуляция контролируется центральной нервной системой. Она включает рецепторы, эффекторы и чрезвычайно чувствительный регуляторный центр в гипоталамусе. Этот центр следит за температурой крови, отражающей температуру тех органов, через которые она протекает.

Для пойкилотермных животных характерно *терморегуляторное поведение*, т.е. осуществление некоторых поведенческих актов, направленных на поддержание температуры тела в условиях меняющейся температуры окружающей среды (впадение в спячку, оцепенение). Терморегуляторное поведение определяется в большей степени биохимическими механизмами.

Поддерживать температуру тела на постоянном уровне животным также помогает испарение жидкости с поверхности тела при высоких температурах окружающей среды. У человека для этого служит потоотделение, у собак и многих птиц – учащенное дыхание.

Существует целый ряд *поведенческих термоадаптаций*. Они проявляются в перемещениях животных в места с более благоприятными температурами (перелеты, миграции), в изменениях сроков активности, выборе животными места для жилища, утеплении убежищ, гнезд пухом, сухими листьями, углублении нор, закрывании входов в них, принятии особой позы (например, скручивание кольцом, укутывание хвостом), собирании в группы, питании более калорийной пищей.

При всем многообразии приспособлений живых организмов к воздействию неблагоприятных температурных условий среды выделяют три основных пути: активный, пассивный и избегание неблагоприятных температурных воздействий.

*Активный путь* – усиление сопротивляемости, развитие регуляторных способностей, дающих возможность осуществления жизненных функций организма, несмотря на отклонения температур от оптимума. Этот путь ярко выражен у эндотермных животных, развит у эктотермных; в зачаточной форме проявляется у некоторых высших растений.

*Пассивный путь* – это подчинение жизненных функций организма ходу внешних температур. Недостаток тепла вызывает угнетение жизнедеятельности, что способствует экономно-

му использованию энергетических запасов. И как итог – повышение устойчивости клеток и тканей организма. Данный путь приспособления к воздействию неблагоприятных температур характерен для всех растений и эктотермных животных. Элементы пассивного приспособления, или адаптации, присущи и эндотермным животным, обитающим в условиях крайне низких температур. Выражается это в снижении уровня обмена, замедлении скорости роста и развития, позволяющее экономнее расходовать ресурсы в сравнении с быстро развивающимися видами.

*Избегание неблагоприятных температурных воздействий* – общий способ для всех организмов, реализуемый через выработку жизненных циклов, при которых наиболее уязвимые стадии развития проходят в самые благоприятные по температурным условиям периоды года. Для растений это главным образом изменения в ростовых процессах, для животных – разнообразные формы поведения.

В связи с тем, что растения и животные исторически приспособлены к определенным тепловым режимам, совершенно закономерно, что температурный фактор имеет непосредственное отношение к их распределению на Земле и обуславливает в той или иной мере заселенность природных зон живыми организмами.

**Влажность.** Жизнь на Земле появилась и развилась как планетарное явление во влажной среде. Все существующие организмы в той или иной степени несут в себе следующие отпечатки водного происхождения жизни:

- активные процессы обмена веществ в организмах происходят в водной среде;
- питательные вещества и газы поступают к потребляющим их клеткам в растворенном состоянии;
- содержание воды в активно функционирующих клетках – от 70 до 98%;
- растения и большинство беспозвоночных животных, обитающих в море, имеют солевой состав жидкостей тела, близкий к составу морской воды. У морских рыб кровь и тканевая жидкость содержит меньше солей, чем окружающая их среда, а жидкости тела пресноводных рыб и наземных животных по составу ближе к морской воде, чем к пресной.

Уникальные термодинамические особенности воды (*высокая удельная теплоемкость, большая теплопроводность и расширение при замерзании*) создают особо благоприятные

условия для жизни. Эти условия обеспечиваются скрытой теплотой плавления воды, в результате чего зимой подо льдом температура никогда не бывает ниже точки ее замерзания (для пресных вод около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Так как максимальной плотностью вода обладает при температуре  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то при более низких или высоких температурах вода имеет меньшую плотность и она расширяется. Поэтому зимний лед образуется лишь сверху, а основная толща воды не промерзает. При охлаждении воды ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и образовании льда выделяется тепло, которое тормозит дальнейшее понижение температуры. Вода способна к значительному переохлаждению: она может оставаться в жидком состоянии ниже температуры плавления (даже при  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и кипения аномально высоки по сравнению с другими веществами, причем удельная теплоемкость воды минимальна при  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если теплоемкость воды принять за 1, то теплоемкость песка составит 0,2, а железа – 0,107 теплоемкости воды. Плотность воды почти в 1300 раз, а вязкость воды – в 55 раз больше, чем у воздуха. Установлено, что вязкость воды с ростом давления уменьшается, а не повышается, как у других жидкостей. Сжимаемость воды крайне невелика. По сравнению с почвой и воздухом вода отличается большей термостабильностью, что выгодно для расселения в ней живых организмов. По сравнению с воздухом вода менее прозрачна, падающий на нее свет быстро поглощается и рассеивается.

Вода – универсальный растворитель. Только при наличии воды могут осуществляться биохимические процессы ассимиляции и диссимиляции, транспорт минеральных и органических веществ, газообмен (фотосинтез, дыхание), транспирация, рост, размножение. Вода с растворенными в ней веществами обуславливает осмотическое давление клеточных и тканевых жидкостей, а также межклеточный обмен. Вода обладает высокой теплоемкостью, стабилизирует температуру организма, поддерживает клетки растений в состоянии тургора, обеспечивает связь органов и передвижение питательных веществ.

В водной среде растворяются газы – *кислород, углекислый газ, аммиак, сероводород* и др. Кислород для водной среды – важнейший экологический фактор. Он необходим для дыхания растений и животных. Содержание кислорода в воде обратно пропорционально температуре. С понижением температуры растворимость кислорода увеличивается. Углекислый газ

растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода. В воде его почти в 700 раз больше, чем в атмосфере, откуда он поступает. Источником  $\text{CO}_2$  в воде являются карбонаты и бикарбонаты щелочных и щелочноземельных металлов. Углекислый газ в воде необходим для фотосинтеза водных растений. Он принимает участие в формировании известковых скелетных образований беспозвоночных животных.

Большое экологическое значение для распространения видов водных организмов имеет также pH. Пресноводные бассейны с pH 3,7–4,7 принято считать кислыми, 6,95–7,3 – нейтральными, а с pH больше 7,8 – щелочными. Морская вода обычно более щелочная, чем пресная, а с глубиной pH ее уменьшается.

В природных условиях вода соприкасается с минеральными веществами, которые в ней растворяются. В пресной воде содержание минеральных солей составляет около 0,5–1 г/л, а в морской воде – гораздо больше: в Балтийском море – 5 г/л, Черном – 18 г/л, а Красном – 41 г/л. Наибольшее значение в обеспечении солености воды имеют карбонаты, сульфаты и хлориды.

Особенности водной среды вырабатывают у ее обитателей, *гидробионтов*, разнообразные приспособления к температурному режиму, солевому и газовому составу воды, перемещениям в плотной среде, давлению.

Большинство океанических форм из-за малых контрастов температуры имеют большие ареалы. Их распространение определяется не столько прямым действием температуры, сколько ее влиянием на концентрацию кислорода в воде. Поэтому в субарктическом и умеренном поясах океана богатство жизни гораздо больше, чем в открытом океане тропиков. Зато прибрежные зоны теплых океанических вод, особенно скопления кораллов, создают условия для большого разнообразия и высокой продуктивности обитателей моря. Здесь решающую роль играет уже не температура, а обилие пищи.

Основная масса гидробионтов стеногалинны, т.е. приспособлены к узким колебаниям минерализации воды как в пресноводных, так и в морских экотопах. Эвригалинны преимущественно обитатели акваторий вблизи устьев рек и лагун, приледниковых зон моря, а также проходные рыбы.

Особенно строгие требования к температуре, концентрации кислорода и солености предъявляют ранние стадии развития гидробионтов.

Водный фактор на суше также играет большую роль в жизни любых организмов. У живых организмов суши содержание физиологической воды в клетках тела невелико по сравнению с гидробионтами. В воздушной среде потери воды организмами неизбежны, так как содержание воды в их теле велико, а давление паров воды в воздухе относительно мало. Газообмен, дыхание и выделение продуктов обмена веществ сопровождаются потерей воды, существенно зависящей от температуры, влажности и скорости движения воздуха и от возможности обеспечения водой.

В процессе эволюции у сухопутных растений и животных выработались разнообразные сложные приспособления, регулирующие водный обмен и обеспечивающие экономное расходование влаги. Различают анатомо-морфологические, физиолого-биохимические и поведенческие приспособления для регуляции водного обмена:

- у растений:
  - погружение устьиц вглубь листа, способность листьев сворачиваться, прикрывая устьица и сокращая поверхность испарения;
  - сохранение запасов воды в толстом сочном стебле;
  - уменьшение относительной поверхности влагоотдачи (шаровидные кактусы; редукция листьев, превращающихся в иглы или шипы);
  - образование защитных покровов, создающих пограничный слой неподвижного воздуха (волоски, колючки, восковой налет) и т.п.;
- у животных для сокращения потерь воды служат:
  - шерсть;
  - перья;
  - отсутствие потовых желез;
  - обратное всасывание воды при выделительных процессах.

Для восполнения запасов воды у животных кроме питья и поглощения влажной пищи определенное значение имеет метаболическая вода, образующаяся в организме при окислении запасов жира. Мелкие обитатели пустынь вообще никогда не пьют, обходясь метаболической водой. Многие амфибии, наземные брюхоногие моллюски, некоторые насекомые и клещи способны поглощать воду через покровы тела. Растения пустынь развивают мощные корневые системы с низким осмотическим потенциалом, которые способны собирать влагу даже при очень малой ее концентрации в почве. А растения-эпифиты поглощают влагу воздушными корнями из воздуха.

Для большинства организмов имеет большое физиологическое значение кислород, поэтому распределение его концентраций в среде и доступность для организмов являются важным экологическим фактором. Приспособления к дыханию в воде, т.е. потреблению растворенного в воде  $O_2$ , у гидробионтов имеют особый характер. Вода содержит во много раз меньше кислорода, чем воздух: при  $20\text{ }^\circ\text{C}$  в 1 л воздуха содержится 277 мг  $O_2$ , а в 1 л пресной воды при полном насыщении растворенным воздухом – 8,7 мг  $O_2$ , т.е. в 32 раза меньше. Для полного извлечения из воды такого же количества  $O_2$ , как и из воздуха, нужно выполнить во много раз большую работу. Зато водные организмы имеют дело с уже готовым раствором кислорода, а дыхание наземных животных зависит от скорости растворения  $O_2$  в транспортирующей жидкости.

В континентальных стоячих водах, особенно в богатых органикой (эвтрофных) озерах и болотах, или под ледовым покровом концентрация  $O_2$  всегда понижена из-за бактериального окисления. Это часто приводит к заморным явлениям – гибели рыб, нуждающихся в богатой кислородом воде. Подобные обстоятельства с самого начала эволюции определили главные стратегии приспособления к водной среде. Самые ранние формы были анаэробными и не нуждались в кислороде. Среди бактерий и простейших до сих пор есть много анаэробов, т.е. организмов, способных относительно легко переносить временное отсутствие кислорода или существовать в условиях кислородного дефицита. Но даже при достижении современного уровня содержания  $O_2$  в природных водах и при расцвете водной фауны кислородный запрос подавляющего числа гидробионтов остался намного ниже, чем у животных, вышедших на сушу.

В природе существуют *сезонный и суточный ритмы влажности*, которые вместе со светом и температурой регулируют расселение, активность и поведение живых организмов. Влажность воздуха обуславливает периодичность жизни организмов, сезонную динамику протекающих жизненных циклов, влияет на продолжительность развития, смертность и плодовитость популяций.

В сухом климате у некоторых растений в процессе эволюции выработались своеобразные ритмы сезонного развития. Это *эфмеры* – преимущественно однолетние растения с очень коротким вегетационным периодом, ограниченными сжатыми сроками периода весеннего или осеннего увлажнения. Разли-

чают весенние и осенние эфемеры. Типичные эфемеры успевают пройти весь цикл развития за 15–30 дней, когда в почве содержится много влаги. Четко выраженную приспособленность к сезонному ритму влажности проявляют также некоторые многолетние растения – *эфемероиды*. Они могут приостанавливать свое развитие при недостатке влаги, а затем в оптимальных условиях влажности вновь продолжать развитие в очень сжатые сроки.

Для приспособления к зимним условиям у некоторых животных увеличивается опорная поверхность ног путем обрастания их жесткими перьями, волосами, роговыми щитками; животные либо мигрируют (перелеты птиц), либо впадают в неактивное состояние (сон, спячка, диапауза); происходит переход на питание определенными кормами.

Для жизни растений и формирования растительного покрова очень важен показатель *влажность воздуха*, который характеризует содержание водяного пара в воздухе. Различают абсолютную и относительную влажность воздуха.

*Абсолютная влажность* – это количество водяного пара, содержащегося в воздухе, выраженное массой воды на единицу массы воздуха. В Беларуси абсолютная влажность воздуха обычно поддерживается на уровне 1,5–14,0 г/м<sup>3</sup>.

*Относительная влажность* – это количество водяного пара, содержащегося в воздухе, в сравнении с насыщающим количеством водяного пара при данных условиях температуры и давления. На территории Беларуси среднегодовая относительная влажность воздуха колеблется в пределах 65–100% (в среднем 80%).

Наибольшее значение для живых организмов имеет *дефицит насыщения воздуха водяными парами* – разность между максимальной и абсолютной влажностью воздуха при определенной температуре.

**Осадки.** На водный режим среды и географическое распределение видов влияют, прежде всего, количество осадков, их распределение в течение года и форма выпадения.

*Осадки* – продукты конденсации водяных паров в атмосфере и на поверхности Земли (дождь, снег, град, иней, роса и др.).

Больше всего осадков на Земле выпадает в экваториальной зоне, в верхнем течении реки Амазонки и на островах Малайского архипелага (10 000–12 000 мм/год), а меньше всего в тундре и пустынях (150–250 мм/год).



Растения потребляют воду преимущественно в жидком состоянии. В вегетационный период вода из атмосферы поступает в растения в основном в жидкой фазе – в виде дождя. Однако, в умеренной и холодных зонах огромное влияние на растения оказывает также вода в твердой фазе – это снег, лед, ожедь (накопление льда на органах растений или на поверхности почвы при внезапных потеплениях, после дождя), изморозь (рыхлый лед на ветвях деревьев и листьях трав во время туманов), иней, град.

При охлаждении воздуха относительная влажность его увеличивается, а когда достигает 100% (так называемая точка росы), начинается конденсация паров в виде капель. Роса и туман не оказывают большого влияния на увлажнение сухого аридного климата, но значительно повышают влажность гумидного (влажного) климата и смягчают отрицательное воздействие коротких сухих периодов.

*Количество осадков* принято выражать толщиной слоя (мм), который образуется на поверхности при их выпадении. Один миллиметр осадков соответствует выпадению 1 л воды на 1 м<sup>2</sup>.

По отношению к влаге растения делят на четыре основные группы: гидрофиты, гигрофиты, мезофиты, ксерофиты.

*Гидрофиты* – водные растения, частично или полностью погруженные в воду. К этой группе также относятся неприкрепленные к субстрату плавающие растения. Все они выработали различные специфические приспособления к водному образу жизни.

*Гигрофиты* – растения влажных местообитаний: болот, прибрежной части водоемов, заболоченных лугов и лесов.

*Ксерофиты* – растения сухих местообитаний, способные переносить длительную атмосферную и почвенную засуху. Ксерофиты засухоустойчивы. В неблагоприятных условиях они могут сбрасывать листья и приостанавливать рост.

*Мезофиты* – растения умеренно влажных местообитаний, широко распространенные в умеренном поясе. По структурно-функциональной организации и отношению к влаге мезофиты занимают промежуточное положение между гигрофитами и ксерофитами.

У животных по отношению к водному режиму выделяют следующие группы: гигрофилы, мезофилы, ксерофилы.

*Гигрофилы* – влаголюбивые животные, нуждающиеся в высокой влажности среды. Характеризуются слабым развитием механизмов регуляции водного обмена, поэтому они не могут



накапливать много воды и удерживать длительное время запасы воды в теле. Такие животные обитают во влажной среде для постоянного пополнения содержания воды в организме.

*Мезофилы* – животные, обитающие в условиях умеренной влажности.

*Ксерофилы* – животные, обитающие в условиях крайне низкой влажности. Эти животные легко переносят сухость воздуха в сочетании с высокой температурой, плохо – высокую влажность. У них хорошо развиты механизмы регуляции водного обмена и приспособления к сохранению влаги в организме. Многие из них для поддержания жизнедеятельности используют метаболическую воду, образующуюся за счет окисления отложенных жиров.

### **2.4.1.2. Эдафические факторы**

Наряду с разного рода климатическими факторами очень важную роль в формировании биосферы играют почвенно-грунтовые условия, или так называемые *эдафические факторы*, связанные с почвой, ею порожденные или обусловленные.

Почвы на планете образуют *педосферу* – почвенный покров Земли.

Важнейшим свойством почвы является *плодородие*, т.е. способность обеспечивать условия для продуцирования растениями органического вещества. Плодородие почв обусловлено их физическими, химическими и биологическими свойствами.

К *физическим свойствам* почвы относятся механический состав, относительная рыхлость структуры, водопроницаемость, аэрируемость, отсутствие света, малая амплитуда колебания температуры, незначительный объем почвенного воздуха.

*Химические свойства* почвы обусловлены наличием минеральных веществ, реакцией среды, засоленностью.

*Биологические свойства* определяются наличием различных живых организмов в пахотном слое почвы.

Почва состоит из хорошо выраженных слоев, обычно различающихся по цвету, которые называются *почвенными горизонтами*. Они образуются и развиваются в результате сложнейшего взаимодействия растений, животных, микроорганизмов и элювированных (выветренных) горных пород.

По специфическим свойствам и химическому составу выделяют три основных почвенных горизонта:

- *перегнойно-аккумулятивный горизонт* – самый верхний, темноокрашенный, богатый гумусом, содержащий основную массу корней растений, почвенных животных и микроорганизмов;

- горизонт вымывания – в нем накапливаются, аккумулируются и преобразуются вещества, поступающие из верхнего горизонта;
- материнская порода – материал ее постепенно преобразуется в почву.

Горизонты почв, отличающиеся по свойствам, формируют вертикальный *почвенный профиль*.

*Мощность почвы* характеризует степень близости подстилающей материнской породы – подпочвы, влияющей на распространение корней.

Почва как природное образование создавалась тысячелетиями. Например, возраст черноземов и темно-каштановых почв составляет 2500–3000 лет; светло-каштановых, серых и бурых лесных – 800–1000 лет; торфяно-глеевых, горно-луговых, лугово-каштановых – 500–800 лет; подзолистых почв – 1500 лет.

Процесс почвообразования тесно связан с физическим и химическим выветриванием горных пород. При этом создается *элювий* – кора выветривания различной мощности, состава, условий залегания и степени влажности. В этом длительном процессе, кроме физических и химических факторов, важную роль играют также биологические факторы.

Кора выветривания является исходным субстратом для почвообразования, которое начинается с момента поселения на этом субстрате микроорганизмов. В результате жизнедеятельности микроорганизмов извлекаются минеральные компоненты из субстрата и выделяются органические кислоты, что создает условия для поселения пионеров растительности – лишайников. Не требовательные к условиям жизни лишайники продолжают функционировать и обогащать подстилающие минеральные горизонты органическими соединениями. На обогащенной питательными веществами почве заселяются высшие растения и животные. В результате их жизнедеятельности в почве постепенно накапливаются специфические органические вещества, обеспечивающие ее плодородие, в частности *гумус*.

Почва характеризуется водным, воздушным, тепловым режимом, структурой, химическим составом. В ней поселяются разнообразные живые организмы. В почве размещаются корневые системы растений. С увеличением возраста почва значительно изменяется под воздействием факторов почвообразования. Развитые почвы формируются только при воздействии высших растений. Без фитоценозов и биоценозов нет

почвы, и только фитоценоз меняет абиогенные физические и химические свойства почвы, формируя ее плодородие. С возрастом часто уменьшается количество карбонатов в почве, щелочная среда может переходить в кислую, увеличивается содержание органических веществ. Почва – это субстрат, из которого растения получают практически все необходимые им вещества.

К основным эдафическим факторам относятся: механический и химический состав, рыхлость, структура, водопроницаемость, влажность, аэрируемость почвы.

**Состав почвы.** Почва состоит из трех фаз: твердой, жидкой, газообразной.

*Твердая фаза* занимает 50% объема почвы, остальную часть – поры, заполненные водой или воздухом. Твердую фазу почвы формируют частицы различных размеров: от обломков пород, достигающих десятков сантиметров, до коллоидных частиц в сотые доли микрона. Благодаря малым размерам коллоиды почвы имеют огромную суммарную поверхность (6000 м<sup>2</sup> в 1 см<sup>2</sup> почвы). Этим свойством объясняется высокая *адсорбционная способность коллоидов* – способность удерживать подвижные соединения.

Важнейшей составной частью почвы является *гумус*. Он образован из гуминовых кислот, фульвокислот и гуминов. Наличием гумуса определяются структура и водоудерживающая способность почвы, ее кислотность, питательная ценность. Деление почв на подзолистые, сероземы, черноземы основано прежде всего на содержании гумуса, которое в различных почвах колеблется от 1% (подзолы и сероземы), 7–8% (обыкновенные черноземы) и до 12% (тучные черноземы).

По механическому составу в зависимости от соотношения крупных и мелких частиц почвы делят на четыре группы:

- *песчаные* (маловлагодоемкие, хорошо влагопроницаемые, но бедные гумусом);
- *супесчаные* (бесструктурные почвы, бедные гумусом, хорошо водо- и воздухопроницаемые);
- *суглинистые* (наиболее благоприятные по своим свойствам для земледелия, со средней влагоемкостью и водопроницаемостью, хорошо обеспечены гумусом);
- *глинистые* (с высокой влагоемкостью и большим содержанием элементов питания). Глинистые почвы – самые мелкодисперсные.

По степени пористости различают почвы *тонкодисперсные* (диаметр пор <1 мм), *пористые* (1–3 мм), *зубчатые* (3–5 мм), *ноздrevатые* (5–10 мм), *ячеистые* (> 10 мм) и *трубчатые* (поры образуют каналы).

Твердая фаза почвы содержит основные запасы питательных элементов. Она состоит из минеральной (90–99% массы) и органической (1–10% массы) частей. Минеральная часть почвы на 90% состоит из четырех элементов – кислорода, кремния, водорода, алюминия. Такие химические элементы, как углерод, водород, кислород, фосфор, сера, содержатся в минеральной и органической частях почвы.

Органические вещества твердой части почвы подразделяются на негумифицированные и гумифицированные вещества.

*Негумифицированные (подвижные) органические вещества* – это отмершие остатки растений и микробов, которые легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания переходят в доступную для растений минеральную форму. Органические вещества минерализуются не полностью. Одновременно в почве идет синтез новых сложных органических соединений, которые служат источником для образования гумусовых, или перегнойных, веществ.

*Гумифицированные (перегнойные) органические вещества* – это высокомолекулярные азотсодержащие соединения. Они составляют основную часть (90%) органического вещества почвы. На полях под зерновыми культурами за вегетационный период разлагается 0,7–0,8 т/га гумуса, а под пропашными культурами – 1–1,2 т/га гумуса с образованием доступных для растений минерального азота (N), фосфора (P), серы (S).

**Влажность и аэрация.** Почвенная вода подразделяется на гравитационную, гигроскопическую и капиллярную.

*Гравитационная вода* – подвижная вода, является основной разновидностью свободной воды, которая заполняет широкие промежутки между частицами почвы и просачивается вниз сквозь почву под действием силы тяжести, пока не достигнет грунтовых вод. Растения легко усваивают гравитационную воду, когда она находится в зоне корневой системы. С этой точки зрения для растений весьма важен полив почвы, смачивание ее водой.

*Гигроскопическая вода* – вода, удерживаемая в почве вокруг отдельных коллоидных частиц в виде тонкой прочной связанной пленки. Она адсорбируется за счет водородных свя-

зей на поверхности глины и кварца или на катионах, связанных с глинистыми минералами и гумусом. Гигроскопическая вода высвобождается только при температуре 105–110 °С и физиологически практически недоступна растениям. Количество гигроскопической воды зависит от содержания в почве коллоидных частиц. В глинистых почвах ее содержится около 15%, в песчаных – около 5% массы почвы. Она образует так называемый *мертвый запас воды* в почве.

*Капиллярная вода* – вода, удерживаемая вокруг почвенных частиц силами поверхностного натяжения. Образуется при накоплении слоев гигроскопической воды вокруг почвенных частиц. Сначала заполняются узкие поры между этими частицами, а затем происходит распространение ее во все более широкие поры. Гигроскопическая вода постепенно переходит в капиллярную.

Капиллярная вода может подниматься по узким порам и капиллярам от уровня грунтовых вод благодаря высокому поверхностному натяжению воды. Растения легко поглощают капиллярную воду, играющую наибольшую роль в регулярном снабжении их водой. Капиллярная вода, в отличие от гигроскопической, легко испаряется. Тонкоструктурные почвы, например глины, удерживают больше капиллярной воды, чем грубоструктурные, такие как пески.

Свойство почвы вызывать капиллярный подъем влаги называется ее *водоподъемной способностью*. Капиллярная вода подвижна, интенсивно потребляется растениями. В ней хорошо растворяются органические и минеральные соединения. Испарение капиллярной воды имеет большое значение при образовании засоленных почв.

Помимо перечисленных форм воды в почве содержится *напробранная влага*, которая занимает все свободные от воды поры.

Почвенная вода находится в постоянном движении: нисходящий ток гравитационной воды в сухие периоды сменяется восходящим током капиллярной воды. Обеспеченность почв водой зависит от температуры, рельефа местности, физико-химических свойств почвы, растительного покрова, перемещения воздуха и других факторов. Вода передвигается в почве к поверхности корней и поступает затем через растение в атмосферу в направлении градиента водного потенциала.

Такие экологические факторы, как низкая температура почвы, недостаток кислорода в почвенной воде и почвенном воздухе, повышенная кислотность почвы, высокая концентрация

растворенных в почвенной воде минеральных солей, затрудняют усвоение доступной почвенной воды для растений. Растения сухих почв обычно имеют более мощную и разветвленную корневую систему, чем влажных почв. Количество физиологически доступной воды влияет на рост, размножение, габитус, продуктивность, биомассу растений.

*Почвенный раствор*, или *жидкая часть почвы*, – это наиболее подвижная, изменчивая и активная часть почвы, из которой растения поглощают питательные вещества в форме ионов. В почвенном растворе содержатся минеральные и органические вещества, совершаются важные биохимические процессы. В почве присутствуют анионы ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и др.), катионы ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и др.), соли железа, алюминия и других элементов, а также водорастворимые органические вещества.

Наиболее благоприятная для растений концентрация солей в почвенном растворе – 1 г/л (0,1%). Избыток солей в почве (больше 2%) вреден для растений. Осмотическое давление почвенного раствора значительно ниже, чем в клеточном соке растений.

Состав почвенного раствора, особенно содержание в нем кислот и оснований, создает *реакцию почвенного раствора*, которая оказывает значительное влияние на жизнедеятельность растений. Реакция почвенного раствора определяется содержанием и соотношением  $\text{H}^+$ - и  $\text{OH}^-$ -ионов, а также ионов алюминия ( $\text{Al}^{3+}$ ).

*Кислотность почвы* определяется наличием в почве ионов водорода и их гидролитически кислых солей. Ионы водорода обуславливают *активную кислотность*, а поглощенные ионы – *потенциальную кислотность* почвенного раствора. Кислотность почвы принято выражать показателем pH – водородным показателем, который представляет собой отрицательный логарифм концентрации водородных ионов в почвенном растворе.

По величине показателя pH почвенного раствора почвы делят на *сильнокислые* (pH=3–4), *кислые* (pH=4–5), *слабокислые* (pH=5–6), *нейтральные* (pH=6–7), *щелочные* (pH=7–8), *сильнощелочные* (pH=8–9). Нейтральную реакцию имеют черноземы, кислую – дерново-подзолистые, болотные и серые лесные почвы, щелочную – каштановые почвы и сероземы пустынь, сильнощелочную – солонцы.

Реакция почвенного раствора влияет на структуру почвы, ее гумификацию, содержание питательных веществ и ионный обмен. В очень кислых почвах высвобождается много ионов  $Al^{3+}$ , а содержание доступных ионов  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Mo^{2-}$  понижено. В более щелочных почвах, напротив, ионы  $Fe$ ,  $Mn$ ,  $PO_4^{3-}$  связаны в труднорастворимых соединениях так, что растения хуже обеспечены этими веществами.

Почвенный воздух отличается от атмосферного воздуха большим содержанием углекислого газа ( $CO_2$ ) и меньшим содержанием кислорода ( $O_2$ ).

Воздух в количестве 15–25% в почве содержится в порах, между органическими и минеральными частицами. При отсутствии (тяжелые глинистые почвы) или заполнении пор водой во время подтоплений, таяния мерзлоты в почве ухудшается аэрация и могут складываться анаэробные условия. В таких условиях тормозятся физиологические процессы организмов, потребляющих кислород аэробов, разложение органики идет медленно. Постепенно накапливаясь, они образуют торф. Большие запасы торфа характерны для болот, заболоченных лесов, тундровых сообществ. Торфонакопление особенно выражено в северных регионах, где холодность и переувлажнение почв взаимообуславливают и дополняют друг друга.

**Экологические группы почвенных организмов и адаптации к почвенной среде.** В почве обитают многочисленные и весьма разнообразные в экологическом отношении группы организмов – микроорганизмы, животные, растения, причем все они находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и со средой обитания. Данные взаимоотношения сложны и многообразны. Благодаря этим взаимоотношениям и в результате коренных изменений физических, химических и биохимических свойств горной породы в природе постоянно происходят почвообразовательные процессы.

Считается, что в среднем почва содержит 2–3 кг/м<sup>2</sup> живых растений и животных, или 20–30 т/га.

Несмотря на неоднородность экологических условий в почве, она выступает как достаточно стабильная среда, особенно для подвижных организмов. Значительный градиент температур и влажности в почвенном профиле позволяет почвенным животным путем незначительных перемещений обеспечить себе подходящую экологическую обстановку.



По степени связи с почвой как средой обитания животных объединяют в три основные экологические группы: геобионты, геофилы и геоксены.

*Геобионты* – животные, постоянно обитающие в почве. Весь цикл их развития протекает в почвенной среде.

*Геофилы* – животные, часть цикла развития которых (чаще одна из фаз) обязательно проходит в почве. К этой группе принадлежит большинство насекомых.

*Геоксены* – животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища.

Вместе с тем приведенная классификация не отражает роли животных в почвообразовательных процессах, так как в каждой группе есть организмы, активно передвигающиеся и питающиеся в почве, и пассивные, которые пребывают в почве в период отдельных фаз развития (личинки, куколки или яйца насекомых). Почвенных обитателей в зависимости от их размеров и степени подвижности можно разделить на несколько групп.

*Микробиота* – это почвенные микроорганизмы, составляющие основное звено детритной пищевой цепи, представляют собой как бы промежуточное звено между растительными остатками и почвенными животными. Сюда относятся, прежде всего, цианобиты, грибы и простейшие. Они живут в почвенных порах, заполненных гравитационной или капиллярной водой, причем часть жизни могут находиться в адсорбированном состоянии на поверхности частиц в тонких прослойках пленочной влаги. Многие из них обитают и в обычных водоемах. Вместе с тем почвенные формы обычно мельче пресноводных и отличаются способностью значительное время находиться в инцистированном состоянии, переживая неблагоприятные периоды.

*Мезобиота* – это совокупность сравнительно мелких, легко извлекающихся из почвы, подвижных животных. Сюда относятся почвенные нематоды, мелкие личинки насекомых, клещи, ногохвостки и др. Эта группа весьма многочисленна – от десятков и сотен тысяч до миллионов особей на 1 м<sup>2</sup> почвы. Они питаются в основном детритом и бактериями. Для данной группы животных почва представляется как система мелких пещер. У них нет специальных приспособлений к рытью. Они ползают по стенкам почвенных полостей с помощью конечностей или червеобразно извиваясь. Насыщенный водяными парами почвенный воздух позволяет им дышать через покровы



тела. Нередко виды животных этой группы не имеют трахейной системы и весьма чувствительны к высыханию. Средством спасения от колебаний влажности воздуха для них является передвижение вглубь. Более крупные животные имеют приспособления, которые позволяют переносить в течение некоторого времени снижение влажности почвенного воздуха: защитные чешуйки на теле, частичная непроницаемость покровов и др.

Периоды затопления почвы водой животные переживают, как правило, в пузырьках воздуха. Воздух задерживается вокруг их тела из-за несмачиваемости покровов, снабженных у большинства из них волосками, чешуйками и т.д. Пузырек воздуха играет для животного своеобразную роль «физической жабры». Дыхание осуществляется за счет кислорода, диффундирующего в воздушную прослойку из окружающей среды.

Животные мезо- и микробиоты способны переносить зимнее промерзание почвы, что является особенно важным, так как большинство из них не может уходить вниз из слоев, подвергающихся воздействию отрицательных температур.

*Макробиота* – это крупные почвенные животные с размерами тела от 2 до 20 мм. К данной группе относятся личинки насекомых, многоножки, энхитреиды, дождевые черви и др. Почва для них является плотной средой, оказывающей значительное механическое сопротивление при движении. Они передвигаются в почве, расширяя естественные скважины путем раздвижения почвенных частиц, роя новые ходы. Оба способа передвижения накладывают отпечаток на внешнее строение животных. У многих видов развиты приспособления к экологически более выгодному типу передвижения в почве – рытью с закупориванием за собой хода. Газообмен большинства видов данной группы осуществляется с помощью специализированных органов дыхания, но наряду с этим дополняется газообменом через покровы. У дождевых червей и энхитреид отмечается исключительно кожное дыхание.

Роящие животные могут уходить из слоев, где возникает неблагоприятная обстановка. К зиме и в засуху они концентрируются в более глубоких слоях, большей частью в нескольких десятках сантиметров от поверхности.

*Мегабиота* – это крупные землерои, главным образом из числа млекопитающих.

Многие из них проводят в почве всю жизнь, другие – какое-то определенное время. Все они прокладывают в почве целые системы ходов и нор. Приспособленность к роющему подземному образу жизни находит отражение во внешнем облике и анатомических особенностях этих животных: недоразвиты глаза, компактное валковатое тело с короткой шеей, короткий густой мех, сильные компактные конечности с крепкими когтями.

Помимо постоянных обитателей почвы, среди животных нередко выделяют в отдельную экологическую группу *обитателей нор*. К данной группе животных относятся барсуки, сурки, суслики, тушканчики и др. Они кормятся на поверхности, однако размножаются, зимуют, отдыхают, спасаются от опасности в почве. Ряд других животных используют их норы, находя в них благоприятный микроклимат и укрытие от врагов. Обитатели нор, или норники, имеют черты строения, характерные для наземных животных, но в то же время обладают рядом приспособлений, которые указывают на роющий образ жизни: длинные когти, сильную мускулатуру на передних конечностях, узкую голову, небольшие ушные раковины.

К особой группе относят животных, заселяющих сыпучие подвижные пески – *псаммофилов*. Они имеют специфические приспособления, которые обеспечивают им передвижение в рыхлом грунте.

Животных, обитающих на засоленных почвах, называют *галофилами*. Обычно в засоленных почвах фауна в количественном и качественном отношении сильно обедняется.

Таким образом, почва имеет огромное значение в жизни живых существ на нашей планете. Именно почва явилась той промежуточной средой, которая обеспечила выход жизненных форм из водной среды на сушу и их адаптацию к новым условиям существования.

По сравнению с другими абиотическими факторами эдафические факторы обладают исключительным своеобразием:

- в отличие от климатических факторов они не только прямо или косвенно воздействуют на организмы, но одновременно служат постоянной или временной средой обитания для многих видов живых существ разного уровня организации, т.е. относятся к средообразующим экологическим факторам;

- почва представляет продукт динамического взаимодействия между первичными и вторичными горными породами, климатом и органическим миром, а в настоящее время и человеческой деятельностью;

- эдафические факторы находятся как бы на грани абиотических факторов с биотическими.

По В.И. Вернадскому, почва – это биокосное тело, состоящее одновременно из живых и косных (неорганических) тел – минералов, воды, воздуха, органических остатков.

Эдафические факторы деятельно участвовали в эволюции органического мира и одновременно развивались и трансформировались под его воздействием.

## 2.4.2. Биотические факторы

Действие *биотических факторов* может рассматриваться как действие их на среду, на отдельные организмы, населяющие эту среду, или на целые сообщества.

Среди наиболее значимых биотических факторов обычно выделяют зоогенные, фитогенные и антропогенные факторы (будет рассмотрено далее – п. 3.5).

### 2.4.2.1. Зоогенные факторы

Непосредственное живое окружение организма составляет его биотическую среду. Каждый вид способен существовать только в таком биотическом окружении, где связи с другими организмами обеспечивают нормальные условия для их жизни. Отсюда следует, что живые организмы встречаются на нашей планете не в любом сочетании, а образуют определенные сообщества, в которые входят виды, приспособленные к совместному обитанию.

Взаимодействия между особями одного и того же вида, так называемые *гомотипические реакции*, проявляются в групповом и массовом эффектах, внутривидовой конкуренции (см. ранее – гл. 1).

Термином *групповой эффект* обозначают изменения, связанные с объединением животных в группы по две или более особей. В настоящее время существование группового эффекта известно во многих отрядах насекомых и у позвоночных. Важным следствием этого является значительное ускорение роста.

Групповой эффект проявляется у многих видов, которые 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. Именно в результате действия *принципа минимального размера популяции* практически невозможно спасти виды, популяции которых стали слишком редкими. Например, белый журавль в Северной Америке, несмотря на все усилия, которые предпринимались в течение многих лет, насчитывает в настоящее время не более 30–50 особей.

При совместной жизни облегчаются поиски пищи, борьба с врагами. Групповой эффект более отчетливо проявляется при наличии у животных *фазности*, т.е. существование вида одновременно в двух фазах: одиночных особей и особей, объединенных в группы. Классическим примером фазности является саранча. Наличие фаз установлено у различных видов бабочек, жуков, тлей, таракана-прусака, сверчков, сеноедов и др. Во всех случаях наблюдаются значительные изменения в плодовитости, скорости развития, а нередко в морфологических и физиологических особенностях животных.

*Массовый эффект* – эффект, вызванный перенаселением среды. Между групповым и массовым эффектами существуют в большинстве случаев переходы, но, как правило, массовый эффект влечет за собой вредные для животных последствия, в то время как групповой эффект на них воздействует благоприятно. Выраженный массовый эффект обычно проявляется в снижении темпов роста и рождаемости.

Взаимоотношения между особями разных видов, или *гетеротипические реакции*, проявляются в виде нейтрализма, межвидовой конкуренции, мутуализма, сотрудничества, комменсализма, паразитизма и хищничества (см. ранее – гл. 1).

Живые организмы обитают в окружении множества других, вступают с ними в разнообразные отношения как с отрицательными, так и положительными для себя последствиями, но в итоге не могут существовать без этого живого окружения. Связь с другими организмами является, с одной стороны, обязательным условием существования (питания и размножения, возможности защиты, смягчения неблагоприятных условий среды), а с другой – опасностью ущерба, нередко и непосред-

ственной угрозой существованию индивидуума. Однако известно, что отрицательное действие каких-либо взаимоотношений между видами является таковым только в начальный период возникновения таких отношений. Со временем вырабатывается определенное равновесие и, так или иначе, отрицательные взаимоотношения все равно служат на пользу каждому из видов. Например, полное уничтожение хищников для защиты оленей через какое-то время вызывает колоссальную вспышку численности последних и полное уничтожение ими практически всей растительности, после чего олени массово погибают от голода или вынуждены мигрировать в занятые другими видами травоядных животных места. Происходит полное изменение экосистем.

В другом случае, при попадании чужеродных видов в экосистему со стороны, они обычно занимают обширную экологическую нишу, вытесняя местные виды, за счет отсутствия естественных врагов.

Учет всей сложности биотических отношений крайне важен при решении вопросов интродукции растений, насекомых, иных живых организмов.

### **2.4.2.2. Фитогенные факторы**

Как и в животном мире взаимоотношения в мире растений весьма сложны и многообразны. На рис. 2.12. представлена наиболее распространенная классификация форм взаимоотношений между растениями.

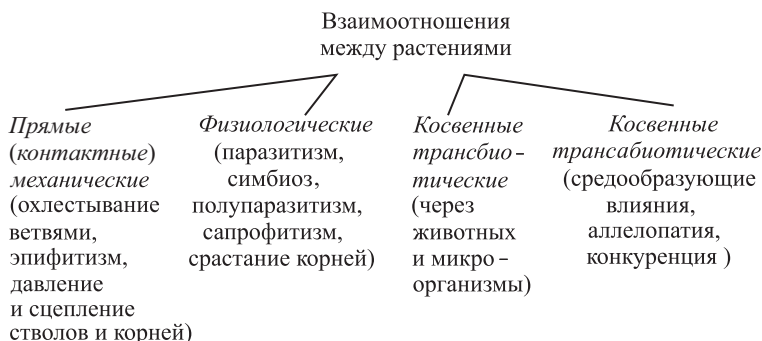


Рис. 2.12. Основные формы взаимоотношений между растениями  
(по В.Н. Сукачеву, Н.В. Дылису и др., 1964)

**Прямые (контактные) механические взаимоотношения между растениями.** Примером механического взаимодействия у растений является, например, повреждение ели и сосны в смешанных лесах от схлестывающего действия березы. Раскачиваясь от ветра, тонкие ветви березы ранят хвою ели, сбивают легкие молодые иглы. Особенно заметно это проявляется в осенне-зимний период, когда ветви березы безлиственны.

Взаимное давление и схлестывание стволов нередко оказывает отрицательное воздействие на растения. Однако чаще такие контакты встречаются в подземной сфере, где большие массы корней тесно переплетаются в небольших объемах почвы. Типы контактов могут быть различны – от простого сцепления до прочного срастания. 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.

К форме механических контактов относится и использование в качестве субстрата одним растением другого. 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.

**Физиологические взаимоотношения между растениями.** Также контакты между растениями включают паразитизм, симбиоз, сапрофитизм, срастание корней.

**Паразитизм** является наиболее ярким примером прямых физиологических воздействий между растениями, т.е. переход одного из партнеров на гетеротрофный способ питания и существование за счет организма-хозяина.

Отдельную группу растений с гетеротрофным питанием составляют **сапрофиты**, использующие в качестве источника углерода органические вещества отмерших организмов. В биологическом круговороте это важное звено, осуществляющее разложение органических остатков и перевод сложных соединений в более простые. Сапрофиты представлены большей частью грибами, актиномицетами, бактериями, но встречаются и среди цветковых у представителей семейств грушанковых, орхидных и др.

**Срастание корней** близко растущих деревьев (одного и того же вида или родственных видов) относится также к прямому физиологическим контактам между растениями. Это явление широко встречается в природе. В густых насаждениях ели срастаются корнями около 30% всех деревьев. 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**, которое широко распространено не только между животными, но и между растениями и животными. Например, ряд насекомоядных растений (росянка, непентес) относят к хищникам.

**Косвенные трансбиотические взаимоотношения между растениями.** Такие контакты осуществляются между растениями через животных и микроорганизмы. Экологическая роль животных в жизни растений состоит в участии в процессах опыления, распространения семян и плодов. С этой целью у растений и животных выработались специфические анатомические, морфофизиологические, поведенческие адаптации.

**Энтомофилия** – опыление растений насекомыми, способствующее выработке у них ряда приспособлений, таких как:

- узоры на лепестках, указывающие путь к нектарникам и тычинкам, причем нередко они видимы только в ультрафиолетовых лучах, доступных для зрения насекомых;
- различие окраски цветков до и после опыления;
- синхронизация суточных ритмов раскрытия венчика и тычинок, обеспечивающая безошибочное попадание пыльцы на тело насекомого, а с него – на рыльце другого цветка и т.д.

**Гетеростилия** – разнообразное и сложное строение цветков (разная форма лепестков, симметричное или несимметричное их расположение, наличие определенных соцветий). Это все – адаптации к строению тела и поведению строго конкретных видов насекомых.

**Орнитофилия** – опыление растений с помощью птиц, достаточно широко распространенное в тропических и субтропических областях южного полушария. Здесь известно около 2000 видов птиц, которые опыляют цветки при поисках нектара или ловле насекомых, прячущихся в их венчиках. Наиболее



известные среди них нектарницы (Африка, Австралия, Южная Азия) и колибри (Южная Америка). Цветки орнитофильных растений обычно крупные, яркоокрашенные. Преобладает ярко-красная окраска, наиболее привлекательная для колибри и других птиц. В некоторых орнитофильных цветках существуют специальные защитные устройства, которые не дают нектару вылиться при движении цветка.

Значительно реже встречается опыление растений млекопитающими, или *зоогамия*. Большей частью отмечается в Австралии, в лесах Африки и Южной Америки. Например, австралийские кустарники из рода *Driandra* опыляются с помощью кенгуру, охотно пьющих их обильный нектар, переходя от цветка к цветку.

*Зоохория* – распространение семян, плодов, спор растений с помощью животных. Среди растений, чьи семена, плоды разносятся животными, в свою очередь, различают эпизоохорные, эндозоохорные и синзоохорные.

*Эпизоохорные растения* – большей частью обитатели открытых пространств. Они имеют у семян, плодов всевозможные приспособления для закрепления и удерживания на поверхности тела животных (выросты, крючки, прицепки и др.), например лопухи большой и паутинистый, липучка обыкновенная и т.д.

В кустарниковом ярусе лесов, где обитает много птиц, преобладают *эндозоохорные виды растений*. Их плоды съедобны или привлекательны для птиц яркой окраской или сочным околоплодником. Следует отметить, что у семян многих эндозоохорных растений повышается всхожесть, а иногда и способность к прорастанию только после прохождения через пищевую тракт животного – многие аралиевые, яблоня Сиверса и др.

Съедобные плоды и семена дуба, сосны сибирской животные не поедают сразу, а растаскивают и складывают в запас. Значительная их часть при этом теряется и дает при благоприятных условиях начало новым растениям. Это явление получило название *синзоохории*.

В косвенных трансбиотических взаимоотношениях между растениями нередко участвуют микроорганизмы. Ризосфера корней многих деревьев, к примеру дуба, сильно изменяет почвенную среду, особенно ее состав, кислотность, и тем самым создает благоприятные условия для поселения там различных микроорганизмов, в первую очередь бактерий, таких как *Azotobacter chroocoteum*, *Tricholome legnorum*, *Pseudomonas sp.*



Эти бактерии, поселившись здесь, питаются выделениями корней дуба и органическими остатками, создаваемыми гифами микоризообразующих грибов. В свою очередь, эти бактерии препятствуют проникновению в корни дуба патогенных грибов. Этот биологический барьер создается с помощью антибиотиков, выделяемых бактериями. Поселение бактерий в ризосфере дуба сразу же сказывается положительно на состоянии растений, особенно молодых.

**Косвенные трансбиотические взаимоотношения между растениями.** Среди них выделяют средообразующее влияние, аллелопатию и конкуренцию.

*Изменение растениями среды* – это наиболее универсальный и широко распространенный тип взаимоотношений растений при их совместном существовании. Когда тот или иной вид или группа видов растений в результате своей жизнедеятельности сильно изменяет в количественном и качественном отношении основные экологические факторы таким образом, что другим видам сообщества приходится жить в условиях, которые значительно отличаются от зонального комплекса факторов физической среды, то это говорит о *средообразующей роли*, или *средообразующем влиянии*, первого вида по отношению к остальным. Наиболее ярким примером взаимовлияния через изменения факторов микроклимата может служить ослабление солнечной радиации внутри растительного покрова; обеднение ее фотосинтетически активными лучами, изменение сезонного ритма освещенности; изменение температурного режима воздуха, его влажности, скорости ветра, содержания углекислоты и т.д.

Другой путь взаимодействия растений в сообществах – через напочвенный слой мертвых растительных остатков, называемых на лугах и в степях ветошью, травянистым спадом, а в лесу – опадом, подстилкой. Этот слой (иногда толщиной в несколько сантиметров) вызывает затруднение для проникновения семян и спор в почву. Прорастающие в слое ветоши (или на нем) семена часто гибнут от высыхания раньше, чем корни проростков достигнут почвы. Для семян, попавших в почву и прорастающих, напочвенные остатки могут являться серьезным механическим препятствием на пути ростков к свету. Возможны и взаимоотношения растений через содержащиеся в подстилке продукты распада растительных остатков, тормозящих или, напротив, стимулирующих рост растений. Известно, что в свежем опаде ели или бука содержатся вещества, тор-

мозащие прорастание ели и сосны, а в местах со скудными осадками и слабым промыванием подстилки могут угнетать естественное возобновление древесных пород. Водные вытяжки из лесных подстилок отрицательно действуют и на рост многих степных трав.

Существенный путь взаимного влияния растений – это *взаимодействие через химические выделения*. Растения выделяют в окружающую среду (воздух, воду, почву) разнообразные химические вещества:

- в процессе гуттации, секреции нектара, эфирных масел, смол и т.д.;
- при вымывании минеральных солей дождевыми водами (листья деревьев, например, теряют калий, натрий, магний и другие ионы);
- в ходе метаболизма;
- летучие вещества, так называемые фитонциды, при нарушении целостности тканей и органов растения;
- вещества из отмерших частей растений.

Химические выделения растений могут служить одним из способов взаимодействия между растениями в сообществе, оказывая на организмы либо токсичное, либо стимулирующее действие.

На рис. 2.13 показаны основные формы веществ, за счет которых растения влияют друг на друга.

Такие химические взаимовлияния получили название *аллелопатии*. В качестве примера можно назвать выделения соплодий свеклы, тормозящие прорастание семян куколя; нут подавляюще действует на картофель, кукурузу, подсолнечник, томаты и другие культуры; фасоль – на рост яровой пшеницы; корневые выделения пырея и костреца – на растущие вблизи с ними другие травянистые растения и даже деревья.

У разных видов растений степень воздействия на абиотическую среду и тем самым на жизнь обитателей экосистемы неодинакова из-за особенностей их морфологии, биологии, сезонного развития и др. Растения, наиболее активно и глубоко преобразующие среду и определяющие условия существования для других сообитателей, 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.).

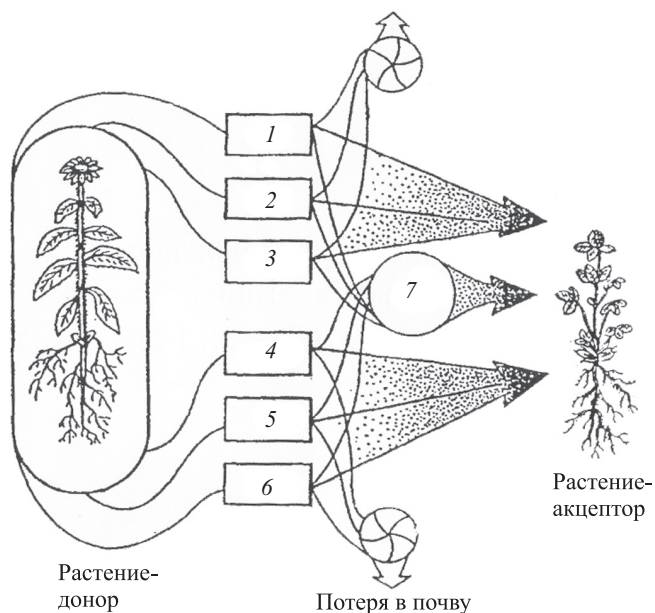


Рис. 2.13. Влияние одного растения на другое (по А.М. Гродзинскому, 1965):  
1 – миазмины; 2 – фитонцидные вещества; 3 – фитогенные вещества; 4 – активные прижизненные выделения; 5 – пассивные прижизненные выделения; 6 – посмертные выделения; 7 – переработка гетеротрофными организмами

*Слабыми эдификаторами* являются лиственные породы с ажурной кроной (береза, ясень), растения травянистого покрова лесов.

В качестве особой формы трансбиотических взаимоотношений растений выделяют **конкуренцию** – взаимные или односторонние отрицательные влияния, которые возникают на основе использования энергетических и пищевых ресурсов местообитания. Сильное влияние на жизнь растений оказывает конкуренция за почвенную влагу (особенно в областях с недостаточным увлажнением) и за питательные вещества почвы (более заметная на бедных почвах). Межвидовая конкуренция проявляется у растений так же, как и внутривидовая, т.е. появлением специфических морфологических изменений, снижением плодovitости, численности и т.д. При этом доминирующий вид постепенно вытесняет или сильно снижает жизнеспособность подчиненных видов.

Самая жесткая конкуренция, нередко с непредвиденными последствиями, возникает при введении в сообщества новых видов растений без учета уже сложившихся отношений. Обычно в этом случае коренным образом меняется характер экосистемы.

## 2.5. Совместное действие экологических факторов на организмы

В экосистеме на каждый организм действует комплекс экологических факторов. Определенный экологический фактор в сочетании с другими факторами может оказывать разное экологическое действие (например, засуха в сочетании с сильным загрязнением атмосферного воздуха сильнее повреждает растения), а один и тот же экологический эффект может быть достигнут разными путями (например, компенсация недостатка влаги может быть достигнута поливом или снижением температуры, уменьшающим транспирацию).

Организмы, расселенные в разных частях своего ареала, имеют разные структурно-функциональные приспособления к окружающей среде. Поэтому виды с широким географическим распространением образуют адаптированные к местным условиям популяции, называемые *экотипами*. Оптимум толерантности экотипов соответствует местным условиям, а компенсация факторов среды может сопровождаться выработкой генетически закрепленных приспособлений (адаптаций) или приспособлений без генетических изменений (акклиматизацией).

Живой организм при прочих равных условиях выбирает местообитание с минимальной амплитудой одного или нескольких лимитирующих факторов. Эта закономерность поведения организмов получила название *принцип минимальной амплитуды*.

Русский эколог М.С. Гиляров ввел *правило смены ярусов*, согласно которому в разных географических зонах одни и те же виды занимают неодинаковые ярусы, что связано с разной интенсивностью действия экологических факторов.

**Концепция лимитирующих факторов.** Поскольку факторы среды, действующие на организм одновременно, обладают разной силой воздействия, то жизнедеятельность организма будет зависеть от тех факторов, которые больше всего отклоняются от зоны оптимума, и если хотя бы один из них выйдет за пределы выносливости, то организм погибнет.

Факторы, которые ограничивают жизнедеятельность организмов в данной среде, называются *ограничивающими* или *лимитирующими*.

В настоящее время в экологии сформулированы и общеприняты следующие законы о лимитирующих факторах:

- *закон минимума (закон Ю. Либиха)* – рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве. Изучением лимитирующих факторов впервые стал заниматься немецкий химик Либих. Он изучал влияние различных химических элементов на рост растений и установил, что продуктивность растений определяется тем элементом, доза которого минимальна. Дальнейшие экологические исследования показали, что закон минимума справедлив не только для растений, но также для животных и человека. В современной трактовке закон минимума гласит: выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей;

- *закон ограничивающих факторов (закон Ф. Блэкмана)* – факторы среды, имеющие в конкретных условиях пессимальное значение, особенно затрудняют (ограничивают) возможность существования вида в данных условиях, несмотря на оптимальное сочетание других отдельных условий. Пессимальное значение экологический фактор может иметь как при низкой, так и при высокой силе воздействия на организм. Поэтому закон ограничивающих факторов не дает однозначного ответа, какой из факторов, имеющих пессимальные значения (максимальный или минимальный по силе), является лимитирующим;

- *закон толерантности (закон В. Шелфорда)* – лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия. Диапазон между минимумом и максимумом экологического воздействия определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору, а в конкретной ситуации эту величину (толерантности) определяет тот из них (минимум или максимум), который ближе к пределам толерантности.

Изучение закона толерантности позволило установить пределы существования для ряда видов растений и животных и сформулировать несколько вспомогательных принципов, дополняющих этот закон:

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного экологического фактора, и узкий диапазон толерантности в отношении другого;
- организмы с широким диапазоном толерантности ко всем экологическим факторам обычно являются наиболее распространенными;
- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то может сузиться и диапазон толерантности к другим экологическим факторам;
- период размножения является критическим для организмов: многие факторы среды при этом становятся лимитирующими. Это означает, что пределы толерантности для размножающихся организмов обычно уже, чем для неразмножающихся взрослых организмов растений и животных;
- начальные этапы развития новых молодых организмов являются критическими, так как пределы толерантности для развивающихся особей обычно уже, чем для взрослых организмов.

Эти законы и принципы чрезвычайно важны при создании систем защиты окружающей среды, хотя, к сожалению, в большинстве случаев это реализуется с технической точки зрения без учета законов экологии.

Ценность концепции лимитирующих факторов состоит в том, что она дает возможность выхода из сложных ситуаций. Изучая конкретную ситуацию, при грамотном применении законов экологии можно выделить слабые звенья и сфокусировать внимание на тех условиях среды, которые с наибольшей вероятностью могут оказаться критическими или лимитирующими.

Если для организма характерен широкий диапазон выносливости (толерантности) к фактору, отличающемуся относительным постоянством и присутствием в среде в умеренных количествах, то вряд ли такой фактор будет являться лимитирующим по отношению к этому организму. Наоборот, если известно, что тот или иной организм обладает узким диапазоном толерантности к какому-то изменчивому фактору, то именно этот фактор и заслуживает внимательного изучения, так как он может быть лимитирующим.

В целом же смысл анализа условий среды, например при оценке воздействия человека на природную среду, состоит в следующем:

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

- путем наблюдения, анализа и эксперимента обнаружить функционально важные факторы;
- определить, как эти факторы влияют на особей, популяции, сообщества;
- выделить наиболее ослабленные звенья изучаемой системы;
- предсказать до реализации мероприятий результат нарушений среды или планируемых ее изменений.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Дайте определение понятия «экосистема» в его историческом развитии.
2. Можно ли отождествлять понятия «экосистема» и «биогеоценоз»?
3. Каковы структура и функции экосистемы?
4. Как происходит эволюция экосистем?
5. Что такое сукцессия?
6. Как понимать понятия «трофическая цепь», «трофический уровень», «трофическая сеть»?
7. Опишите трофическую структуру экосистемы.
8. Как происходит движение энергии через экосистему?
9. Охарактеризуйте основные пространственные и пищевые связи в экосистеме.
10. Дайте характеристику понятию «экологические факторы».
11. Каковы основные характеристики экологических факторов?
12. Как совместно действуют экологические факторы на структурно-функциональные свойства экосистемы?

## ГЛАВА 3

# БИОСФЕРА

---

### 3.1. Основные черты и структура биосферы

Содержание понятия *биосферы* не всегда было однозначным. Первоначально биосферами называли гипотетические глобулы (видимо, под влиянием идей французских ученых XVIII в. П.Л. Мопертюи и особенно Ж.Л. Бюффона о бессмертных органических молекулах), якобы составляющие живую основу всех организмов. Такое понимание продержалось во Франции до середины XIX в.

Существенно иное представление о биосфере сформулировал в 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс. В монографии «Происхождение Альп» он говорит о «самостоятельной биосфере» как об особой оболочке Земли, образованной живыми организмами. В заключительной главе большого трехтомного труда «Лик Земли» (1909) этот автор пишет, что понятие «биосфера» возникло как следствие идей Ж. Ламарка и Ч. Дарвина о единстве органического мира.

Работы Зюсса положили начало биологическому представлению о биосфере как о совокупности организмов, населяющих Землю, как о живой оболочке планеты. Такого взгляда придерживались многие русские географы, например Н.М. Сибирцев (1899), Д.Н. Анучин (1902), П.И. Броунов (1910), А.А. Григорьев (1948), английский исследователь и философ Дж. Бернал (1969) и др.

Представление Зюсса о биосфере как об особой оболочке Земли использовал и великий русский ученый В.И. Вернадский (1926), вложив в него, однако, существенно иное, биогеохимическое содержание.

Биосфера, по Вернадскому, – это область распространения жизни, включающая наряду с организмами и среду их обитания. Зачатки этого представления можно обнаружить уже в высказываниях ученых XVII и XVIII вв., в книге «Космос» А. Гумбольдта и в работах В.В. Докучаева.

Общее учение о биосфере создано в 20–30-х гг. XX в. Вернадским, развившим идеи Докучаева о комплексном естественно-историческом анализе взаимодействующих в природе



разнокачественных объектов и явлений (факторов почвообразования) и выявлении самостоятельных природных объектов гетерогенной структуры и состава (почвы, природные зоны).

В основе учения Вернадского лежат прежде всего представления:

- о планетарной геохимической роли живого вещества (совокупности всех живых организмов, существовавших или существующих в определенный отрезок времени, рассматриваемых как мощный геологический фактор). Живое вещество, в понимании Вернадского, как биогеохимический фактор количественно выражается в элементарном химическом составе, массе и энергии;
- об организованности биосферы, являющейся продуктом сложного превращения вещественно-энергетического и информационного потоков живым веществом за время геологической истории Земли.

В учении о биосфере Вернадского выделяют следующие основные аспекты:

- энергетический, освещающий связь биосферно-планетарных явлений с космическими излучениями (в основном солнечными) и радиоактивными процессами в земных недрах;
- биогеохимический, отражающий роль живого вещества в распределении и поведении атомов (точнее, их изотопов) в биосфере и ее структурах;
- информационный, изучающий принципы организации и управления, осуществляемые в живой природе в связи с исследованием влияния живого вещества на структуру и состав биосферы;
- пространственно-временной, освещающий формирование и эволюцию различных структур биосферы в геологическом времени в связи с особенностями пространственно-временной организованности живого вещества в биосфере;
- ноосферный, изучающий глобальные эффекты воздействия человечества на структуру и химию биосферы в процессе хозяйственной и иной деятельности.

Существенными моментами учения о биосфере являются представления о взаимосвязях (прямых и обратных связях) и сопряженной эволюции всех структур биосферы. Эти представления положены в основу разработки проблемы «биосфера и человечество» многими национальными и международными организациями, научными центрами и лабораториями.

Для решения этой проблемы проводятся такие мероприятия, как Международное гидрологическое десятилетие, Международная биологическая программа и др.

Повышенный интерес к изучению биосферы вызван тем, что локальное воздействие человека на нее, характерное для всей предшествовавшей истории, сменилось в XX в. значительным его влиянием на состав, структуру и ресурсы биосферы. На планете нет участка суши или моря без следов деятельности человека. Один из ярких примеров – глобальные выпадения радиоактивных осадков – продуктов ядерных взрывов. В атмосфере, океане и на суше повсеместно присутствуют (пусть в самых незначительных количествах) продукты сгорания нефти, угля, газов, отходы химической и другой индустрии, ядохимикаты и удобрения, сносимые с полей в процессе водной и ветровой эрозии. Интенсивное и нерациональное использование ресурсов биосферы (водных, газовых, биологических и др.), усугубляемое гонкой вооружений и испытаниями ядерного оружия, развеяло миф о бесконечности и неисчерпаемости этих ресурсов.

Многочисленные примеры разрушительной деятельности человека и, к сожалению, редкие примеры его созидательной деятельности (в том числе и в плане охраны природы) свидетельствуют об актуальности дальнейшего развития исследований биосферы как целостной системы, к которой относится и человек.

Биосфера включает не только область жизни (биогеосферу, фитогеосферу, витасферу), но и другие структуры Земли, генетически связанные с живым веществом. По Вернадскому, вещество биосферы состоит из семи разнообразных, но геологически взаимосвязанных частей: живое вещество, биогенное вещество, косное вещество, биокосное вещество, радиоактивное вещество, рассеянные атомы, вещество космического происхождения.

В пределах биосферы везде встречается либо живое вещество, либо следы его биогеохимической деятельности. Атмосферные газы (кислород, азот, углекислый газ), природные воды, равно как и природное топливо (нефть, уголь), известняки, глины и их метаморфические производные (сланцы, мраморы, граниты и др.), в своей основе созданы живым веществом планеты.

Слои земной коры, лишённые в настоящее время живого вещества, но переработанные им в геологическом прошлом, Вернадский относил к области «былых биосфер».

Биосфера мозаична по структуре и составу, в ней отражается геохимическая и геофизическая неоднородность лика Земли (океаны, озера, горы, ущелья, равнины и т.д.) и неравномерность в распределении живого вещества по планете как в прошлые эпохи, так и в наше время. Максимальное содержание живого вещества гидросферы приурочено к мелководьям, минимальное – к глубинным акваториям (*абиссаль*); на суше эта неравномерность проявляется в мозаике биогеоценоотического покрова (леса, болота, степи, пустыни и др.) с минимумом плотности живого вещества в высокогорьях, пустынях и полярных областях.

Современная *структура биосферы* – продукт длительной эволюции многих систем разной сложности, последовательно стремящихся к состоянию динамического равновесия. Практическое значение учения о биосфере огромно. Особенно заинтересованы в развитии этого учения здравоохранение, сельское и промышленное хозяйство и другие отрасли человеческой практики, чаще других сталкивающиеся с «ответными ударами» со стороны биосферы, вызванными неразумным или неосторожным преобразованием природы человеком.

В настоящее время оба понимания биосферы, по Зюссу и по Вернадскому, существуют на равных правах. Н.В. Тимофеев-Ресовский предлагает говорить о биосфере в узком и широком понимании. Представляется более целесообразным употреблять это понятие, вкладывая в него смысл, приданный Вернадским, – область распространения жизни, используя для биосферы в узком смысле выражения: «совокупность организмов», «пленка жизни», «живой покров Земли», «биота», «биос».

Биосферу как место современного обитания организмов вместе с самими организмами можно разделить на три подсферы:

- аэробIOSферу, населенную аэробиионтами, субстратом жизни которых служит влага воздуха;
- гидробиосферу – глобальный мир воды (водная оболочка Земли без подземных вод), населенный гидробионтами;
- геобиосферу – верхнюю часть земной коры (литосфера), населенную геобионтами.

Лимитирующим фактором развития жизни в *аэробииосфере* служит наличие капель воды и положительных температур, а также твердых аэрозолей, поднимающихся с поверхности Земли. От вершин деревьев до высоты наиболее частого рас-

положения кучевых облаков простирается тропобиосфера (с тропобионтами), выше которой лежит слой крайне разряженной микробиоты – альтобиосфера (с альтобионтами). Над ней простирается пространство, куда жизнь проникает лишь случайно и не часто, где организмы не размножаются, – парабииосфера.

*Гидробиосфера* распадается на мир континентальных, главным образом пресных, вод: аквабиосферу (с аквабионтами) и область морей и океанов – маринобиосферу (с маринобионтами).

В гидробиосфере выделяют три слоя, связанных главным образом с интенсивностью света: фотосферу – относительно ярко освещенный; дисфотосферу – всегда очень сумеречный (до 1% солнечной инсоляции), а фотосферу – абсолютной темноты, где невозможен фотосинтез.

*Литобиосфера* распадается на два слоя: гипотеррабиосферу – слой, где возможна жизнь аэробов (или подтеррабиосфера) и теллурубииосферу – слой, где возможно обитание анаэробов (или глубинобиосфера). Жизнь в толще литосферы существует в основном в подземных водах.

На больших высотах в горах, там, где уже невозможна жизнь высших растений и вообще организмов-продуцентов, но куда ветры приносят с более низких вертикальных поясов органическое вещество и где при отрицательных температурах воздуха еще достаточно тепла от прямой солнечной инсоляции для существования жизни, расположена высотная часть террабиосферы – *эоловая зона*. Это царство членистоногих и некоторых микроорганизмов – эолобионтов.

Жизнь в океанах достигает их дна. Под ним, в базальтах, она едва ли возможна. В глубинах литосферы есть два теоретических уровня распространения жизни – изотерма 100 °С, ниже которой при нормальном атмосферном давлении вода кипит, а белки свертываются, и изотерма 460 °С, где при любом давлении вода превращается в пар, т.е. в жидком состоянии существовать не может.

Жизнь в глубинах Земли фактически не идет дальше 3–4 км, максимум 6–7 км и лишь случайно в неактивных формах может проникнуть глубже – в *гипобиосферу* («подбиосферу» – аналог парабииосферы в атмосфере). Следует отметить, что здесь, где залегают биогенные породы, расположена *метабиосфера*. Она, начинаясь с поверхности Земли, простирается далеко вглубь литосферы, теряясь там, где процессы метаморфоза горных пород стирают признаки жизни.

Между верхней границей гипобиосферы и нижней парабиосферы лежит собственно биосфера – *эубиосфера*. Ее наиболее насыщенный жизнью слой называют биосферой или, по Вернадскому (1926), пленкой жизни.

Выше парабиосферы расположена *атобиосфера*, где сравнительно обильны биогенные вещества (ее верхняя граница трудноуловима). Под метабиосферой расположена *абиосфера* («небиосфера»).

Весь слой нынешнего или прошлого воздействия жизни на природу Земли называют *мегабиосферой*, а вместе с *артебиосферой* (пространством человеческой экспансии в околоземной космос) – *панбиосферой*.

Таким образом, *поле существования жизни*, по новейшим данным, ограничено в вертикальном пределе высотой около 6 км над уровнем моря, до которой сохраняются положительные температуры в атмосфере и могут жить хлорофиллоносные растения (6,2 км в Гималаях). Выше, в золотой зоне, обитают лишь жуки, ногохвостки и некоторые клещи, питающиеся зернами растительной пыльцы, спорами растений, микроорганизмами и другими органическими частицами, заносимыми ветром, и т.п. Еще выше живые организмы попадают лишь случайно (микроорганизмы могут сохранять жизнь в виде спор).

Нижний предел существования активной жизни традиционно ограничивают дном океана и изотермой 100 °С в литосфере, расположенными соответственно на отметках около 11 км, а по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове – 16 км. Фактически жизнь в литосфере распространена до глубины 3–4 км.

Таким образом, вертикальная мощность биосферы в океанической области Земли достигает более 17 км, в сухопутной – 12 км.

Парабиосфера еще более асимметрична, поскольку верхнюю ее границу определяет озоновый экран.

Более значительны колебания толщи мегабиосферы, охватывающей осадочные породы, но она не опускается на материках глубже отметок самых больших глубин океана, т.е. 11 км (здесь температура достигает 200 °С), и не поднимается выше наибольших плотностей озонового экрана (22–24 км), следовательно, ее максимальная толщина 33–35 км.

Подстилающая литосфера, верхняя стратосфера, ионосфера и космическое пространство служат биосфере средой. Основным энергетическим источником, обеспечивающим функционирование биосферы, – лучистая энергия Солнца.

Таким образом, *биосфера* – это особая термодинамическая открытая оболочка Земли, вещество, энергетика и организация которой обуславливаются взаимодействием ее биотического и абиотического компонентов. Она, следовательно, включает совокупность организмов и их остатки, а также части атмосферы, гидросферы и литосферы, населенные организмами и изменяемые их деятельностью.

Важнейшей функцией биосферы является регулярное, возрастающее во времени воссоздание живого вещества по численности, весу и количеству аккумулированной и удерживаемой энергии. Человек воспринимает эту функцию как биологическую продуктивность биосферы, ее частей (океан, почвы, пресные воды) или ее отдельных экосистем и биогеоценозов (дельты, луга, тайга, поля зерновых и т.д.).

Организация биосферы как системы биогеоценозов характеризуется тем, что:

- имеется масса специфических компонентов – популяции отдельных видов;
- различные виды организмов не только способны образовывать связи друг с другом (они уже не могут существовать без этих связей);
- связи между организмами обеспечиваются в основном одним источником энергии – солнечным излучением. Каждый биогеоценоз – своеобразный трансформатор солнечной энергии в энергию биосинтезов;
- относительная независимость биоценозов друг от друга при условии конкуренции между ними за место обитания, вещество и энергию создает оптимальные условия для эволюции всей биосферы.

### **3.2. Живое вещество биосферы и его планетарная роль**

*Живое вещество* – совокупность в биосфере живых организмов, их биомассы, характеризующаяся специфическим химическим составом, огромной биомассой и энергией.

Понятие «живое вещество» введено в науку великим русским ученым В.И. Вернадским. Это понятие и определение планетарной роли живого вещества стали краеугольным камнем развития экологии как фундаментальной науки. В 1919 г. Вернадский писал: «Под именем живого вещества я буду подразумевать всю совокупность организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки

зрения эта совокупность организмов имеет значение только массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией...»

Однако до настоящего времени в науке нет всеобъемлющего и всеохватывающего определения живого, жизни.

На наш взгляд, наиболее всеобъемлющей характеристикой живого на основе анализа всей совокупности знаний о нем являются пять аксиом теоретической биологии, сформулированные Б.М. Медниковым (1982):

- все живые организмы оказываются единством фенотипа и программы для его построения (генотипа), передающейся по наследству из поколения в поколение (*аксиома А. Вейсмана*)\*;

- генетическая программа образуется матричным путем. В качестве матрицы, на которой строится ген будущего поколения, используется ген предшествующего поколения (*аксиома Н.К. Кольцова*);

- в процессе передачи из поколения в поколение генетические программы в результате различных причин изменяются случайно и ненаправленно, и лишь случайно такие изменения могут оказаться удачными в данной среде (*1-я аксиома Ч. Дарвина*);

- случайные изменения генетических программ при становлении фенотипа многократно усиливаются (*аксиома Н.В. Тимофеева-Ресовского*);

- многократно усиленные изменения генетических программ подвергаются отбору условиями внешней среды (*2-я аксиома Ч. Дарвина*).

Из данных аксиом можно вывести все основные свойства живой природы, и в первую очередь такие как *дискретность* и *целостность* – два фундаментальных свойства организации жизни на Земле.

Любой многоклеточный организм состоит из клеток, клеток и одноклеточные существа – из ряда органелл, которые, в свою очередь, образованы из дискретных высокомолекулярных органических веществ, состоящих из дискретных атомов дискретных элементарных частиц. Все эти сложные дискретные составляющие в результате упорядоченного взаимодействия создают целостную систему. Целостность живых систем

---

\* Аксиомы названы по именам ученых, впервые описавших данное явление. Приводимые же краткие формулировки аксиом не принадлежат данным ученым.



качественно отличается от неживых прежде всего тем, что она поддерживается в процессе их развития. Живые системы – открытые системы, которые существуют только в процессе постоянного обмена веществом и энергией со средой. Для них характерна отрицательная энтропия (возрастание упорядоченности), увеличивающаяся в процессе эволюции. Именно в живом в полной мере проявляется способность материи к самоорганизации.

Среди живых систем нет двух абсолютно одинаковых особей, популяций и видов. Эта уникальность проявления дискретности и целостности основана на явлении конвариантной редупликации.

*Конвариантная редупликация* (самовоспроизведение с изменениями) осуществляется на основе матричного принципа (сумма трех первых аксиом). Это, вероятно, единственное специфическое для жизни, в известной для нас форме ее существования на Земле, свойство. В основе его лежит уникальная способность к самовоспроизведению основных управляющих систем развития и существования живого (ДНК, хромосом, генов).

Способность к *самовоспроизведению по матричному принципу* позволяет молекуле ДНК исполнять роль носителя наследственности исходных управляющих систем (аксиома А. Вейсмана).

Матричный принцип выражается в том, что последовательность синтезируемой цепи ДНК однозначно определяется последовательностью материнской цепи в соответствии с *принципом комплиментарности*.

При самовоспроизведении управляющих систем, в отличие от иных, происходит не механическое повторение, а воспроизведение с внесением изменений (1-я аксиома Ч. Дарвина). Неизбежность этого свойства живых систем является результатом физико-химических свойств молекул ДНК. Любая достаточно сложная молекулярная и сверхмолекулярная структура обладает ограниченной степенью стабильности. Время от времени она претерпевает структурные изменения в результате движения атомов и молекул. Эти изменения могут привести к летальному исходу или будут многократно усилены и переданы по наследству в результате самовоспроизведения по матричному принципу (аксиома Н.В. Тимофеева-Ресовского).



По существующим представлениям, конвариантная редупликация означает возможность передачи по наследству дискретных отклонений от исходного состояния (мутаций) и является предпосылкой эволюции живого на всех уровнях его организации (см. ранее – гл. 1).

В процессе жизнедеятельности организмы используют наиболее доступные атомы, способные к образованию устойчивых химических связей. Водород, углерод, кислород, азот, фосфор и сера являются главными химическими элементами земного вещества. Их атомы создают в живых организмах сложные молекулы в сочетании с водой и минеральными солями. Эти молекулярные постройки представлены углеводами, липидами, белками и нуклеиновыми кислотами. Перечисленные части живого вещества находятся в организмах в тесном взаимодействии.

В настоящее время суммарная биомасса биосферы (в расчете на сухое вещество) ориентировочно составляет около 2 трлн т. Живое вещество биосферы на 99,5% представлено биомассой наземных растений. Суммарная продуктивность биоты биосферы охарактеризована в табл. 3.1.

**Таблица 3.1. Количественная характеристика биомассы и продуктивности современной биосферы (Т.А. Акимова, А.П. Кузьмин, В.В. Хаскин, 2001)**

Показатель биомассы и продукции	Количество, млрд т
Биомасса живого вещества биосферы	6065
Сухое вещество биомассы биосферы	2135
Органическое вещество биомассы биосферы	2064
Годовая продукция живого вещества (брутто)	590
Сухое вещество продукции	219
Органическое вещество продукции	212
Годовое потребление и выделение CO <sub>2</sub>	360
Годовой обмен метаболической воды	105
Годовое потребление и выделение кислорода	255
Годовой приток нетто-энергии фотосинтеза (Дж · 10 <sup>18</sup> )	11 800

Общее количество энергии, преобразуемое биотой биосферы за год, превышает 10<sup>22</sup> Дж. Благодаря способности трансформировать солнечную энергию в энергию химических связей живое вещество биосферы выполняет ряд фундаментальных биогеохимических функций планетарного масштаба:

- газовую (миграция газов и их превращения);

- концентрационную (аккумуляция живыми организмами химических элементов из внешней среды);
- окислительно-восстановительную (химические превращения веществ, содержащих атомы с переменной валентностью, – соединений железа, марганца, микроэлементов и т.д.);
- биохимическую и биогеохимическую (включение разного рода химических веществ, поступающих в окружающую среду в процессе жизнедеятельности человека);
- информационную.

Совокупность этих функций определяет все химические превращения в биосфере и относится в основном к внешним факторам существования. Все вместе они составляют мощную *средообразующую функцию*. Работа растений обусловила современный состав атмосферы. От состава атмосферы зависит радиационный и тепловой режим на планете, спектральный состав достигающего поверхности Земли солнечного света. Растительный покров существенно определяет водный баланс, распределение влаги и климатические особенности больших пространств. Живые организмы играют ведущую роль в самоочищении воздуха, рек и озер, от них во многом зависит солевой состав природных вод и распределение химических веществ между сушей и океаном. Благодаря растениям, животным и микроорганизмам создается почва и поддерживается ее плодородие. Наконец, биота – главное богатство планеты и окружающей нас среды – обеспечила человека пищей, одеждой, множеством других вещей. Следует четко представлять, что окружающая среда – это не фиксированная физическая данность, а единая живая динамичная система, каждое мгновение воссоздаваемая работой множества живых существ.

Средообразующая функция биосферы связана со средорегулирующей функцией – биотической регуляцией окружающей среды. Далее при рассмотрении параметров биотического круговорота будет показано, что биота в глобальном масштабе способна с большой точностью и долгое время поддерживать на постоянном уровне параметры окружающей среды, несмотря на исключительную сложность и динамичность регулируемой системы. Таким образом, живое вещество биосферы непосредственно формирует и контролирует состояние окружающей среды.

### 3.3. Эволюция биосферы

Биосфера как планетарная оболочка сложилась более 3,5 млрд лет назад и в течение этого громадного промежутка времени оставалась постоянной в основных чертах своего строения, организации круговорота веществ и потоков энергии и выполняемых биогеохимических функций.

Формирование принципиальных особенностей биосферы восходит ко времени, о котором нет прямых палеонтологических данных. Поэтому реконструкции начальных этапов эволюции биосферы всегда гипотетичны. Практически нам известен лишь один этап в развитии биосферы – это современная, сложно дифференцированная биосфера, включающая несколько миллионов видов, каждый из которых выполняет в ней различные функции: средообразующие, деструктивные, концентрационные, энергетические и транспортные. Не вызывает сомнений, что такая сложнейшая глобальная сверхсистема могла сформироваться лишь в результате длительного развития. Однако еще недавно вопрос об эволюции биосферы вызывал серьезные дискуссии.

С одной стороны, ряд авторов, ссылаясь на устойчивость биогеохимических функций биосферы, стабильность ее основных энерго-вещественных параметров, отрицали эволюцию биосферы как целостной системы. Признавалось наличие эволюции только для современного этапа в истории биосферы, когда под влиянием конкретной производственной деятельности человека в ней произошли грандиозные изменения.

С другой стороны, ученые отождествляли биосферу с одним из ее компонентов – органическим миром и даже филогенетические преобразования отдельных таксономических групп пытались представить как показатели эволюции биосферы, а коренные преобразования в органическом населении Земли в отдельные геологические периоды рассматривали как время крупных перестроек самой биосферы. В результате выделялось несколько критических периодов в истории биосферы, когда происходило вымирание одних крупных таксонов и их замена другими.

В настоящее время признается совершенно иное представление об эволюции биосферы. Данные, накопленные в различных областях геологии, географии и биологии, свидетельствуют о том, что в ходе эволюции органических форм происходили и определенные изменения в биосфере: изменялись ее био-

геохимические функции, расширялась зона распространения жизни, усложнялся биотический круговорот и т.д. Но эти процессы не автоматически следовали за любым изменением в органическом мире. Биосфера в целом оказывалась более устойчивой, чем входящие в нее отдельные виды и ценозы. Основной вклад в развитие представлений о путях, масштабах, направлении и движущих силах эволюции биосферы внес В.И. Вернадский.

Еще в 1928 г. Вернадский отметил противоречие между представлениями о материально-энергетической устойчивости биосферы и установленным Ч. Дарвином фактом исторических преобразований живого. Обдумывая это противоречие, он сделал ряд важных выводов, имеющих большое значение для понимания эволюции биосферы.

Вернадский характеризовал эволюцию химической и энергетической структур биосферы как интегральный результат преобразований, происходящих на видовом уровне организации жизни. Факторы и движущие силы видообразования, очевидно, и представляют собой ведущие источники преобразования биосферы в целом.

Стремясь связать эволюцию видов с эволюцией биосферы, Вернадский подчеркивал необходимость изучать видообразование не только с точки зрения преобразования морфологических и физиологических признаков организмов, но и изменения их массы, элементного состава и геохимической энергии.

Вернадский не раз подчеркивал, что, хотя носители геохимической энергии (организмы) дискретны, в совокупности они представляют собой единое целое, занимающее определенное место в геохимических и энергетических процессах биосферы. Ученый впервые поставил вопрос о геохимических факторах эволюции организмов, так как химическая дифференциация вида в значительной степени обусловлена различием химической среды в пределах его ареала.

Само развитие биосферы Вернадский связывал с постоянным противоречием между способностью организмов к быстрому размножению и ограниченностью материальных и энергетических ресурсов жизни в каждый геологический момент ее истории. Очевидно, что разрешение этого противоречия было возможно только на пути создания все более прогрессивных форм жизни, способных к завоеванию новых зон жизни, овладению новыми источниками минеральных веществ и рациональному использованию уже освоенных ресурсов.

Для понимания взаимосвязи эволюции организмов с эволюцией биосферы особый интерес представляют составленные Вернадским (1925, 1927, 1965) таблицы размножения организмов (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Скорость размножения организмов (В.И. Вернадский, 1965)

Организмы	$\Delta$	$a$
<b>Бактерии</b>		
<i>Bacterium coli comm.</i>	61,27	$2,78 \cdot 10^{18}$
<i>Vibrio cholerae asiat.</i>	61,02–62,47	$2,2 \cdot 10^{18}$ – $6,4 \cdot 10^{18}$
<i>Bacillus ramosus</i>	53,33	$1,16 \cdot 10^{16}$
<b>Диатомеи</b>		
<i>Nitzschia putrida</i>	4,8	26,8
Среднее для морских диатомей (планктон)	0,5	0,41
<b>Piridinae</b>		
Среднее для <i>Ceiatium</i> (планктон)	0,25	0,19
<b>Phytomonadina</b>		
<i>Eudorina elegans</i>	0,79	0,72
<b>Heliozoa</b>		
<i>Actinophrys</i>	1,25	1,38
<b>Инфузории</b>		
<i>Paramecium aurelia</i>	1,78	2,32
<i>P. caudata</i>	1,09	2,12
<i>Leucophrys patula</i>	7,0	127,0
<b>Dicotyledonae</b>		
<i>Trifolium repens</i>	0,016	0,0088
<i>Solanum nigrum</i>	0,04	0,029
Пшеница (среднее для Франции)	0,019	0,013
<b>Mammalia</b>		
<i>Sus scrofa</i>	$0,9-2,25 \cdot 10^{-3}$	$0,5-1,5 \cdot 10^{-3}$
<i>S. domestica</i>	$9,7-10,6 \cdot 10^{-3}$	$6,7-7,10^{-3}$
<i>Mus decumanus</i>	$9,6 \text{ (мин)} \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$
<i>Elephas indicus</i>	$0,096 - 0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,067-0,07 \cdot 10^{-3}$

Примечание.  $\Delta$  – коэффициент, характеризующий темп размножения (для многих протистов  $\Delta$  выражает число поколений в сутки);  $a$  – суточный прирост делимого при размножении.

Из данных табл. 3.2 видно, что наибольшей геохимической энергией отличаются бактерии и цианобактерии, выживаемость которых обеспечивается за счет продуцирования и расхода большого количества биомассы. Таксоны с наиболее высокой геохимической эволюцией подвергаются интенсивной элиминации, в результате чего они в течение миллиардов лет оставались на относительно низком уровне морфологической организации. Это объясняется тем, что предел в создании форм, способных к быстрому накоплению биомассы и к мгновенному по геологическим меркам заселению потенциально доступной зоны жизни, был достигнут еще в период зарождения жизни на планете. В дальнейшем главным направлением в эволюции стало формирование организмов, наиболее эффективно использующих солнечную энергию для синтеза органических соединений (эволюция растительного покрова) и усложняющих циклы миграции химических элементов за счет активного переноса их в разные регионы биосферы (эволюция двигательной активности животных).

Будучи в некоторых своих фундаментальных чертах строения геологически вечной, биосфера претерпевает подлинные качественные и необратимые изменения во времени. Своеобразие эволюции биосферы заключается в том, что она происходит в пределах уже сложившегося уровня организации живого.

В преобразовании многих параметров биосферы можно установить четко выраженные тенденции.

Многокомпонентное строение биосферы, разнообразие происходящих в ней абиотических и биотических процессов, непрерывные преобразования ее отдельных компонентов и связей затрудняют выделение и характеристику существенных черт в эволюции биосферы.

**Биосфера** – это планетарная система, материально-энергетическая устойчивость которой определяется всей совокупностью органических форм. Как всякая система, она обладает собственными закономерностями эволюции, которые нельзя свести к изменениям, вызванным эволюцией той или иной таксономической группы. Источником развития биосферы выступают противоречивые взаимодействия между всем живым и косным веществом в поверхностной оболочке Земли. Ведущая роль в этом взаимодействии принадлежит жизни. Органический мир в целом, а не отдельные группы растений и животных, детерминирует основные параметры биосферы. Поэтому

необходимы не частные, а интегральные характеристики для оценки результатов взаимодействия эволюционирующей биосферы с косным веществом биосферы.

Организовываться и эволюционировать биосфера начала с появлением первых живых организмов простейшей структуры, хотя некоторые наиболее радикальные палеоэкологи считают, что процесс формирования биосферы в планетарном масштабе начался с момента образования самой планеты Земля.

В процессе своего развития Земля прошла несколько этапов, характеризующихся специфическими чертами. Основными являются:

- эволюция атомов, в процессе которой образовались основные химические элементы. Это этап скорее космического характера, итогом его явилось формирование эмбриона планеты – протопланетного облака;

- химическая эволюция, в процессе которой атомы объединяются в молекулы все возрастающей величины и сложности. Скорее всего, именно на этом этапе появились первые сложные органические макромолекулы, которые впоследствии дадут начало всему живому на Земле;

- геологическая эволюция, в процессе которой образовалось все богатое и сложное многообразие пород и минералов, сформировались лито-, гидро- и атмосферы;

- эволюция органического мира, в процессе которой химическая эволюция макромолекул перешла в биологическую эволюцию организмов, т.е. произошел переход от жизни вещества к жизни существа;

- культурная, или техногенная, эволюция, которая начинается с появления *Homo habilis* (человека умелого) и продолжается по настоящее время.

Первый этап – эволюция атомов – продолжался около 1 млрд лет, однако данный этап не прекращается и сейчас наряду с геологической и биологической эволюциями. Эти процессы взаимно проникают друг в друга.

Типичные черты геологической эволюции начинают проявляться около 4,5 млрд лет назад, когда формируется макроструктура Земли. В макроструктуре различают: плотное двухслойное ядро с радиусом около 3400 км; более легкую мантию толщиной около 2900 км; земную кору, имеющую мощность от 5 до 50 км. Земная кора более тонкая на дне океанических впадин и более мощная на континентах.

Древнейшими породами на Земле, обнаруженными в подводных хребтах южной части Атлантического океана, исполнилось 4,5 млрд лет. Эндербиты, найденные в Восточной Антарктиде (Земля Эндерби), имеют возраст около 4 млрд лет. Горные породы более старшего возраста пока не обнаружены, поэтому принято считать, что геологическая эволюция началась не позднее 4,5 млрд лет назад. Эти породы состоят из дымчатого кварца и темно-коричневого пироксена, минералов высоких температур и давлений (900–1000 °С и 1000–1500 МПа). Такими были физические условия на планете в момент образования этих пород. В Южной Африке в провинции Свазиленд обнаружены мощные, более 10 км, осадочные породы, содержащие большое количество окаменелостей органического происхождения. Их возраст по последним данным оценивается в 3,2–3,5 млрд лет.

Таким образом, считается общепринятым, что возраст Земли как планеты – 5 млрд лет; возраст мантии – около 4,5 млрд лет; возраст земной коры – 3,2–4 млрд лет; биологическая эволюция началась 3,2–3,5 млрд лет назад, хотя есть некоторые данные, которые позволяют отнести зарождение жизни на 3,4–4,5 млн лет назад.

На основании всех известных данных в 2009 г. Международной комиссией по стратиграфии принята Международная геохронологическая шкала.

Первые живые организмы, скорее всего, появились в среднем архее 3,5–3,8 млрд лет назад. Вопрос о происхождении жизни на Земле пока еще вызывает много споров и представлен целым рядом гипотез, которые образуют две большие группы: приверженцы одной считают, что первичные организмы были занесены из космического пространства и в силу ряда причин начали осваивать нашу планету (*теория панспермии*); другие считают местом возникновения первых живых организмов собственно планету Земля.

Большинство современных исследователей убеждены, что возникновение жизни в условиях первичной Земли – естественный и неизбежный результат эволюции материи. Основным доказательством служит единство химической основы жизни, построенной из присущих нашей планете простых и сложных атомов: водорода, гелия, азота, углерода, магния, кислорода, серы, железа, кремния и др.

Представим себе Землю, какой она была по нашим представлениям 4 млрд лет назад: безбрежный океан грязно-бурой жидкости, состоящей из раствора множества элементов, в ко-



тором непрерывно протекают сложнейшие химические реакции всех типов. Океан составляет 2/3 поверхности планеты и вечно покрыт шапками пены, окрашенной во всевозможные цвета. Суша представляет собой один огромный суперконтинент, рельеф которого несколько разнообразят невысокие горные цепи, тянущиеся непрерывной грядой на тысячи километров.

Земная твердь разрывается трещинами и глубокими безднами. Землетрясения и извержения вулканов практически не прекращаются. Из жерл многочисленных вулканов изливаются красные потоки раскаленной до невероятных температур лавы, которые медленно остывают, чтобы через какое-то время вновь потечь рекой в океан.

Из-за плотного слоя вулканического пепла и газов, выбрасываемых при извержении вверх, свет рассеян, сумеречен, красен. Атмосферы в привычном нам понимании нет. Вместо нее вокруг планеты образовалась тонкая оболочка из легких газов (водорода и гелия) и некоторых благородных газов (аргона, неона, криптона и др.), удерживаемая силами притяжения планеты. Однако из-за слабости этих сил на Земле и такая легкая оболочка вскоре ею утрачивается.

Вторичная атмосфера создавалась постепенно в результате потери газов разогретыми слоями земной коры в течение длительного времени. Эта атмосфера не содержала даже следов кислорода, а состояла из водяного пара, углекислого газа, азота и некоторых других легких газов.

Но в океане, в этом химически агрессивном бульоне, уже появились первые анаэробные организмы, т.е. способные существовать и размножаться в бескислородной среде. В морской пене сконцентрированы органические вещества. Там, в скоплениях пены, скорее всего, образовывались сложные биополимеры.

Первые организмы в примитивной бескислородной высокотемпературной атмосфере, насыщенной электричеством и жестким радиоактивным излучением, накапливали энергию для своего существования и роста путем хемосинтеза.

Возможно, что одновременно с этими организмами в верхних слоях пленки воды в океане появились организмы, которые расщепляли органическое вещество, необходимое им для получения энергии на рост и развитие, с выделением свободного кислорода. Это эпохальное для эволюции биосферы событие, скорее всего, произошло 3,5 млрд лет назад. Именно этому возрасту соответствуют окаменелости, в которых встре-

чаются молекулы щелочного изопренового ряда (фитан и пристан), которые, вероятно, представляют фрагменты молекул хлорофилла.

В настоящее время с полной вероятностью установлено, что в период от 3,8 до 3,5 млрд лет назад уже существовали первые автотрофные фотосинтезирующие организмы, которые вместе с древними гетеротрофными протобионтами обитали в атмосфере, практически лишенной кислорода.

Уже в раннем архее происходит параллельное развитие цианофитов. Эти организмы, скорее всего, произошли не от одного предка, а от каких-то разных самостоятельных биообъектов. Они не имели обособленного ядра, обладали весьма развитой системой обмена веществ, способностью к размножению и примитивным фотосинтетическим аппаратом. Они быстро распространялись и к концу архея (2,6–2,7 млрд лет назад) заполнили на планете все водные среды. К концу протерозоя, т.е. приблизительно 1 млрд лет назад, сине-зеленые водоросли достигли своего расцвета. В это же время (рифей, 1,35 млрд лет назад) появились эукариоты (одноклеточные с ядром) и началось половое размножение, что давало таким организмам большое преимущество в размножении и выживании.

К этому моменту планета уже достаточно остыла, образовались постоянные континенты суши, в атмосфере стал накапливаться кислород и под воздействием ряда физико-химических факторов (температуры, жесткого радиоактивного излучения, мощных электромагнитных полей, агрессивной химической среды) начался процесс биологической эволюции и формирование присущей только нашей планете биосферы.

Жизнь, однажды возникнув, быстро в геологическом масштабе времени распространилась по поверхности нашей планеты. В ходе эволюции биосферы все геологические и геохимические процессы постепенно превратились в биогеологические и биогеохимические. Это объяснялось все увеличивающимся *давлением жизни* на окружающую среду, усложнением взаимодействий между живым и косным веществом. Следы средопреобразующего воздействия жизни зафиксированы в геохимическом строении биосферы: в газовом составе атмосферы, химическом и минералогическом составе литосферы, структуре и текстуре образующих ее пород. Решающая роль живого сказывается в детерминации химической активности природных вод и общего термодинамического баланса биосферы.

Переход от восстановительной атмосферы к кислородной был центральным событием в геохимической эволюции биосферы, вызвавшим грандиозные изменения в гидро- и литосфере. Эволюция живого привела к постепенному уменьшению кислотности вод и превращению их в щелочные. Продукты жизнедеятельности организмов в результате литогенеза превратились в залежи полезных ископаемых и в осадочные породы. Скорее всего, даже гранитная оболочка Земли представляет собой метаморфизированные остатки «былых биосфер». Преобразование геохимической структуры биосферы под влиянием эволюции живого вещества отразилось и в эволюции минералообразования, формировании залежей полезных ископаемых, эволюции почв.

Таким образом, образование четырех планетарных оболочек Земли (атмосферы, гидросферы, литосферы и педосферы) является итогом жизнедеятельности организмов и их эволюции.

Рост биомассы и продуктивности биосферы вел к прогрессивному накоплению запаса превращаемой энергии в поверхностных оболочках Земли и тем самым к уменьшению непревращаемых форм энергии в земных условиях. В результате накопления продуктов жизнедеятельности организмов увеличивалась негэнтропия биосферы. По мере развития органического мира происходило обогащение живого, биогенного и косного вещества биосферы аккумулированной солнечной энергией. Ее аккумуляторами стали не только горючие ископаемые, но и многие минералы, в которых находится большая часть энергии, накопленной в земной коре.

В ходе развития биосферы непрерывно нарастала дифференцированность ее строения. Это проявлялось в увеличении видового разнообразия биосферы, формировании ее физико-географической зональности, возникновении геохимических барьеров и т.д. Иными словами, происходило увеличение неорганической и биологической информации. Рост информации в биосфере был связан прежде всего с тем, что эволюция органического мира, как отмечал еще Дарвин (1859), в целом идет в сторону достижения наибольшей «суммы жизни», которая возможна лишь при наибольшем разнообразии видов биологического сообщества. Возрастание информационной емкости биосферы, т.е. усложнение ее структуры и взаимодействий между ее компонентами, резко повышало целостность биосферы, степень ее автономности от космоса и других геологических оболочек Земли.

Одним из показателей эволюции биосферы служат также изменения в концентрационных функциях живого вещества. Среди них – усиление одних концентрационных функций и ослабление других, появление качественно новых функций, перенос отдельных концентрационных функций с одной группы организмов на другую и т.д.

Эволюция концентрационных функций проявилась как в увеличении содержания в организмах разных химических элементов, так и в изменении соотношений между ними. Изменения концентрационных функций живого вещества отразились в формировании месторождений полезных ископаемых. Доказано, что время образования многих рудных месторождений совпадает с периодом доминирования в биосфере организмов с повышенным содержанием этих металлов в их телах.

Однако эволюция биосферы представляет собой прежде всего процесс расширения, углубления и интенсификации биотического круговорота веществ, поэтому особенности биологических явлений на разных уровнях, различия отдельных особей, видов и групп организмов прежде всего следует рассматривать как приспособление, обеспечивающее этот круговорот (Наумов, 1964).

Развитие примитивных форм жизни вело к возникновению особых биогенных циклов в сложных круговоротах вещества и потоках энергии на нашей планете. По мере захвата жизнью все новых и новых регионов эти циклы приобретали общепланетарный характер. В процессе эволюции органического мира происходило взаимное приспособление видов таким образом, чтобы подольше сохранить в круговороте вещества, используемые в метаболизме животных и растений, и повысить скорость их круговорота. Это обеспечивалось за счет интенсификации окислительных процессов и ускорения процессов обновления живого вещества. Эволюция живого была запрограммирована на то, чтобы при сохранении биотического круговорота химических элементов выделялось больше кислорода, фиксировалось больше энергии и могло образовываться все больше живого вещества.

Важнейшими событиями в эволюции биосферы были возникновение и эволюция основных способов питания (хемотрофного, автотрофного и гетеротрофного); типов экологических взаимодействий (хищничество, паразитизм, конкуренция, кооперация); становление биотического круговорота, осуществляемого продуцентами, консументами и редуцентами.

Возникший на заре жизни биотический круговорот продуцентов и редуцентов из числа бактерий, низших грибов и других древних групп постоянно усложнялся за счет встраивания в него все новых и новых звеньев, расширения арсенала используемых химических элементов, минеральных веществ и энергетических источников.

Таким образом, эволюция биосферы проявляется, прежде всего, в расширении сферы действия биотического круговорота и в усложнении его структуры. Это обеспечивается выработкой наиболее устойчивой макроструктуры жизни, возрастанием многообразия органических форм и усиления их преобразующего воздействия на окружающую среду.

Эволюция геохимического строения биосферы, ее биомассы и биопродуктивности, биогеохимических функций, информационной емкости и энерговооруженности служит показателем эволюции биотического круговорота. Благодаря последней возрастает целостность и организованность биосферы, совершенствуются механизмы ее саморегуляции.

### **3.4. Движение вещества и энергии в биосфере**

#### **3.4.1. Круговорот веществ в биосфере**

Во все геологические периоды геосфера как внешняя оболочка Земли, в которой взаимодействуют земная кора, атмосфера (до озонового слоя), гидро- и биосфера и где сосредоточены жизнь и хозяйственная деятельность человека, развивалась как единое целое. Единство, саморегулирование и развитие обеспечивались непрерывным движением вещества и энергии в биосфере. Первоисточником энергии для экосистем служит Солнце. Поток солнечной энергии на Земле и ее трансформации показаны на рис. 3.1.

Поток энергии, посылаемый Солнцем к планете Земля, превышает 20 млн ЭДж/год. Из-за шарообразности Земли к границе всей атмосферы подходит только четверть этого потока. Из нее около 70% отражается, поглощается атмосферой, излучается в виде длинноволнового инфракрасного излучения. Падающая на поверхность Земли солнечная радиация составляет 1,54 млн ЭДж/год.

Биосфера играет важную роль в распределении энергетических потоков на Земле. В год до Земли доходит около  $10^{24}$  Дж солнечной энергии; 42% из нее отражается обратно

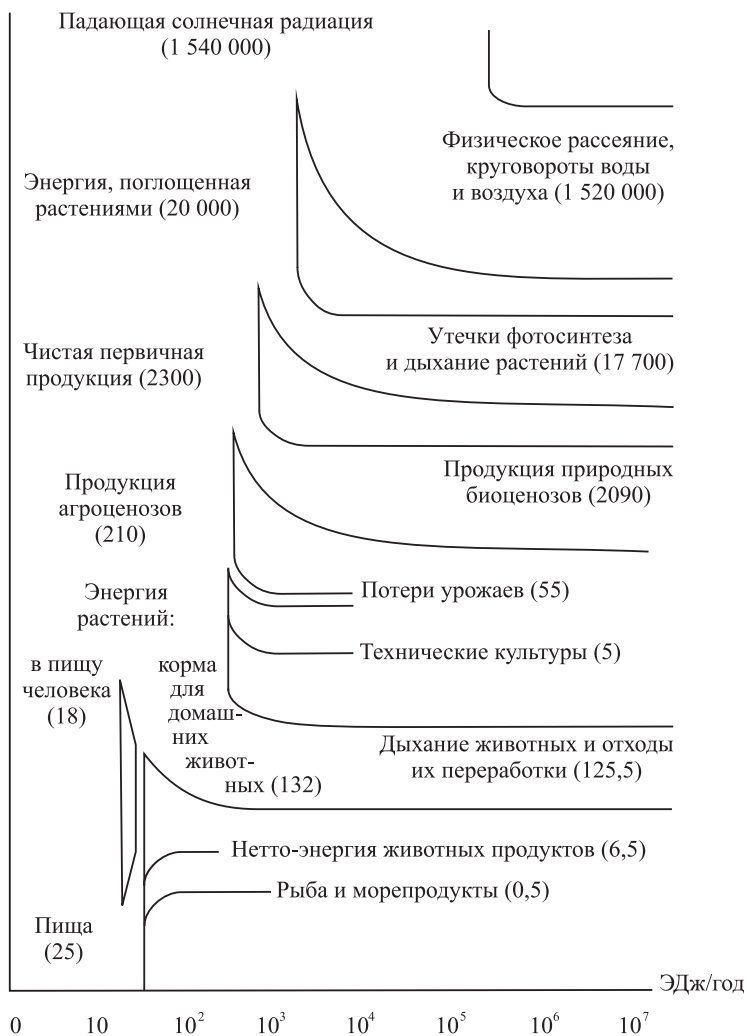


Рис. 3.1. Поток солнечной энергии на Земле и ее трансформации (по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину, 1994):

Примечание. Энергия выражена в эксаджоулях (ЭДж/год). 1 ЭДж =  $10^{18}$  Дж; горизонтальное сечение потока энергии – логарифмическое. На каждом из этапов трансформации большая часть энергии теряется.

в космос, а остальная часть поглощается. Другим источником энергии является теплота земных недр: 20% энергии возвращается в мировое пространство в виде теплоты, 10% расходу-

ется на испарение воды с поверхности Мирового океана. Зеленые растения в процессе фотосинтеза преобразуют около  $10^{22}$  Дж энергии в год, поглощают  $1,7 \cdot 10^8$  т углекислого газа, выделяют около  $11,5 \cdot 10^7$  т кислорода и испаряют  $1,6 \cdot 10^{13}$  т воды. Исчезновение растений привело бы к катастрофическому накоплению углекислого газа в атмосфере, и через сотню лет жизнь на Земле в ее нынешних проявлениях погибла бы. Наряду с фотосинтезом в биосфере происходят почти такие же по масштабам процессы окисления органических веществ при дыхании и разложении.

В организмах содержатся все известные сегодня химические элементы. Для синтеза живого вещества необходимо примерно 40 элементов. Наибольшую роль выполняют основные биогенные элементы.

*Биогенные элементы* – это химические элементы, постоянно входящие в состав организмов. Они выполняют жизненно необходимые биологические функции, т.е. являются основой жизни. Прежде всего, это кислород (составляющий 70% массы организмов), углерод (18%), водород (10%).

Другие элементы требуются в меньших количествах, но и они также необходимы. Это кальций, железо, калий, магний, натрий, кремний и др. Все элементы попеременно переходят из живой материи в материю косную (неживую), участвуя в более или менее сложных биогеохимических циклах.

Успехи аналитической химии и спектрального анализа расширили перечень биогенных элементов: ученые открывают все новые элементы, входящие в состав организмов в малых количествах (*микроэлементы*), и открывают биологическую роль многих из них. Вернадский считал, что все химические элементы, постоянно присутствующие в клетках и тканях организмов в естественных условиях, вероятно, играют определенную физиологическую роль. Многие элементы имеют большое значение только для определенных групп живых существ (например, бор необходим для растений, ванадий – для асцидий и т.п.).

Содержание тех или иных элементов в организмах зависит не только от их видовых особенностей, но и от состава среды, пищи (в частности, для растений – от концентрации и растворимости тех или иных почвенных солей), экологических особенностей организма и других факторов. Все элементы попеременно переходят из живой материи в косную (неживую), участвуя в сложных биогеохимических циклах, которые можно разделить на две основные группы:

- круговорот газов и воды, в котором главным резервуаром элементов служит атмосфера (круговорот углерода, азота, кислорода);
- круговорот осадочный, элементы которого в твердом состоянии находятся в составе осадочных пород (круговорот фосфора, железа и серы).

Организмы участвуют в миграции химических элементов как прямо (выделение кислорода в атмосферу, окисление и восстановление различных веществ в почвах и гидросфере), так и косвенно (восстановление сульфатов, окисление соединений железа, марганца и других элементов). Биогенная миграция атомов вызвана тремя основными процессами: обменом веществ, ростом и размножением организмов.

Огромную роль в биогеохимической активности играет человек, извлекая ежегодно в ходе добычи полезных ископаемых миллиарды тонн горной породы. Влияние человека на глобальные геохимические процессы с каждым годом только растет.

Солнечная энергия на Земле вызывает два круговорота веществ:

- биосферный – безостановочный планетарный процесс закономерного циклического, но неравномерного перераспределения веществ, информации и энергии, многократно входящих в экосистемы биосферы. Это так называемый *большой круг биотического обмена*;

- биогеоценотипический – многократное циклическое, но неравномерное во времени и незамкнутое обращение части веществ, энергии и информации, входящих в биосферный круговорот, в пределах биогеоценоза. Это так называемый *малый круг биотического обмена*.

Оба круговорота взаимосвязаны и представляют собой единый процесс.

На рис. 3.2. представлена принципиальная схема биотического круговорота.

Основу биосферы и ее функций составляет, прежде всего, круговорот таких биологически важных веществ, как углерод, кислород, фосфор, азот и вода. Циклы элементов существенно отличаются от простого физического преобразования энергии, которая, в конце концов, деградирует в виде теплоты и никогда потом не используется снова.

**Круговорот углерода** является наиболее значимым для сохранения свойств биосферы. Единственным источником углерода, используемого автотрофными растениями для синтеза



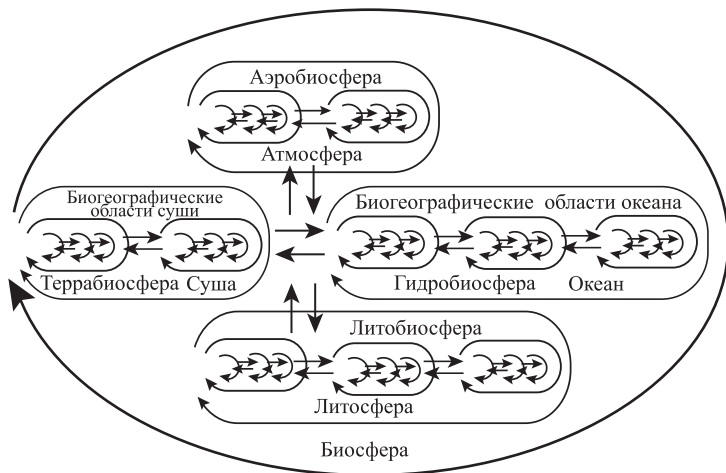


Рис. 3.2. Принципиальная схема биологического (биотического) круговорота (по К.Ф. Реймерсу, 1990)

органического вещества, служит углекислый газ (диоксид углерода) –  $\text{CO}_2$ , входящий в состав атмосферы или находящийся в растворенном состоянии в воде. Углерод горных пород (преимущественно карбонаты) автотрофами практически не используется.

Круговорот углерода начинается с фиксации атмосферного углекислого газа в процессе фотосинтеза (рис. 3.3).

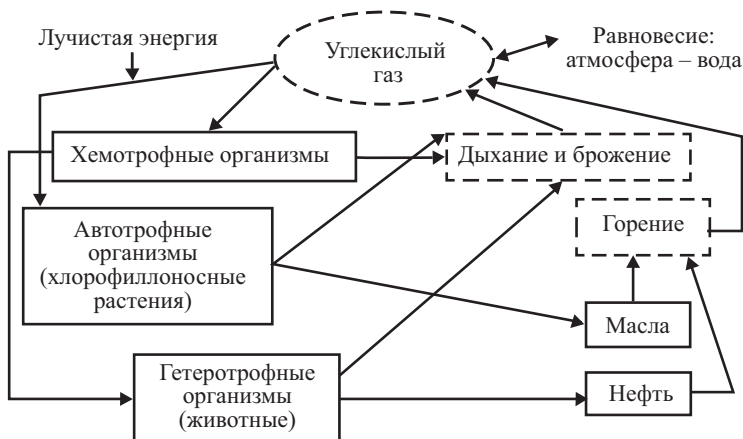


Рис. 3.3. Круговорот углерода в биосфере

В результате фотосинтеза из диоксида углерода и воды образуются углеводы и высвобождается кислород, поступающий в атмосферу. Часть образовавшихся углеводов используется самим фотосинтезирующим организмом (зеленым растением или некоторыми микроорганизмами и простейшими) для получения энергии, идущей на рост и развитие, а часть – животными при поедании этих организмов. При этом диоксид углерода уходит в окружающую среду через корни, листья и некоторые другие органы растений, а также выделяется животными в процессе дыхания.

Мертвые животные и растения постепенно разлагаются микроорганизмами почвы, углерод их тканей окисляется до  $\text{CO}_2$  и снова возвращается в атмосферу. Аналогичный процесс происходит не только на суше, но и в океане. Благодаря длительной фотосинтезирующей деятельности в атмосфере накопилось достаточное количество свободного кислорода для процветания белковой жизни. Более того, в настоящее время для процесса фотосинтеза лимитирующим фактором является не только низкое содержание в атмосфере  $\text{CO}_2$ , но и высокое – кислорода. Фотосинтезирующие зеленые растения и карбонатная система моря весьма эффективно удаляют из атмосферы избыток  $\text{CO}_2$ , который может привести к перегреву планеты и угнетению жизни.

Однако необыкновенно возросшее потребление ископаемого топлива, газовые выбросы промышленности, а также снижение поглотительной способности зеленых растений в связи со значительным сокращением лесов, прежде всего влажных джунглей Амазонки и таежных лесов Сибири, влияние ряда химических загрязнителей на сам процесс фотосинтеза начинают заметно отражаться и на атмосферном фонде круговорота углерода.

О масштабах круговорота углерода можно судить по следующим цифрам. Запасы углерода в атмосфере оцениваются в 700 млрд т, в гидросфере – в 50 000 млрд т. Если принять, что общий годовой фотосинтез, согласно существующим подсчетам, составляет соответственно 30 и 150 млрд т, то продолжительность круговорота углерода равна трем или четырем столетиям, а по некоторым данным, – 1000 лет. Действительно, содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере не уменьшается, так как его запасы постоянно пополняются за счет дыхания, брожения и сгорания. Наоборот, существует реальная опасность того, что в результате развития промышленного производства и нару-

шения равновесного состояния биосферы содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере может значительно вырасти, что приведет к целому ряду отрицательных эффектов.

**Круговорот воды** в биосфере (рис. 3.4) предполагает, что суммарное испарение уравнивается выпадением осадков. В средних широтах растения способны задерживать до 25% воды, выпадающей в виде осадков. Остальная вода впитывается в почву или стекает по поверхности в водоемы. Благодаря испарению часть воды снова возвращается в атмосферу.

В Германии был проведен количественный учет дождевой воды на всей территории страны. Выяснилось, что из годовой нормы осадков в 771 мм только 367 мм, или меньше 50%, достигает моря в виде ливневых стоков; остальная вода, т.е. 404 мм, испаряясь, возвращается в атмосферу. Растения поглощают и транспирируют (испаряют) в атмосферу 38% осадков. Показано, что задерживается и идет на создание живого вещества всего 1% атмосферной влаги.

В экваториальных районах испарение играет еще более существенную роль. Например, известно, что тропические леса бассейна реки Конго испаряют 2/3 выпадающих осадков. Ежегодно с поверхности Мирового океана в атмосферу испаряется около 880 мм, с суши – 140 мм воды и столько же выпадает на Землю в виде осадков. Живые организмы играют активную роль в круговороте воды на Земле. Подсчитано, что вся вода планеты проходит через живую оболочку Земли за 2 млн лет. Из океана испаряется больше воды, чем попадает в него с осадками, на суше – наоборот. Лишние осадки, выпадающие на суше, попадают в ледяные шапки и ледники и сохраняются там, пополняя грунтовые воды, откуда растения забирают их

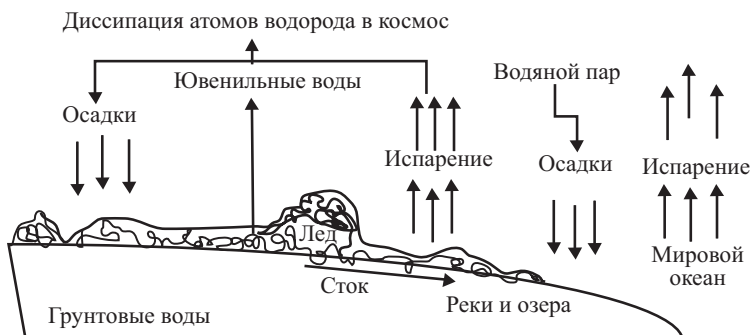


Рис. 3.4. Круговорот воды в биосфере

с помощью корневой системы и используют на рост и развитие. Грунтовые воды питают реки и озера, из которых снова возвращаются в океан со стоком.

Удаление некоторого количества воды в виде паров и водорода в космос компенсируется в основном за счет ювенильной воды, т.е. поднимающейся на поверхность из глубоких магматических очагов в результате вулканической деятельности и землетрясений.

**Круговорот азота** (рис. 3.5) также охватывает все области биосферы. Его запасы в атмосфере практически неисчерпаемы, однако высшие растения могут усваивать азот лишь после того, как он образует легкорастворимые соли с водородом или кислородом. В этом процессе основополагающую роль играют азотфиксирующие бактерии. Растения, поглотившие азот, в дальнейшем поедаются животными. С энергетической точки зрения круговорот азота можно представить как ряд этапов, которые требуют энергии извне либо получают ее за счет энергонасыщенных соединений. В процессе круговорота азот протоплазмы переводится из органической в неорганическую форму в результате деятельности нескольких видов бактерий, каждый из которых выполняет одну индивидуальную функцию.

Атмосферный воздух является кладовой азота, так как на 78,09% он состоит из него, но, как уже указывалось ранее, чтобы высшие растения смогли атмосферный азот усвоить, он

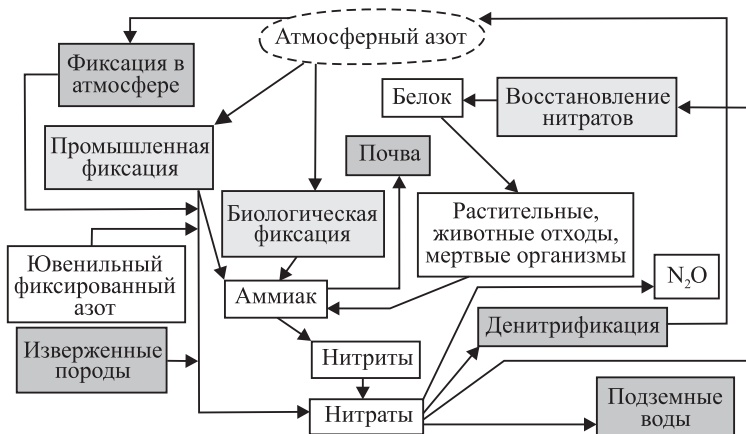


Рис. 3.5. Круговорот азота в биосфере

должен соединиться с кислородом или водородом. С помощью азотфиксирующих бактерий азот атмосферы переходит в легкоусвояемые растениями формы. Растения, использовавшие азотсодержащие соли на рост и развитие, поедаются животными. Продукты жизнедеятельности последних также с помощью бактерий разлагаются до аммиака, а затем другими микроорганизмами связываются до нитратов и нитритов и т.д. Таким образом, азот постоянно поступает в атмосферу благодаря жизнедеятельности денитрифицирующих бактерий, а также образуется при атмосферных электроразрядах (молниях) и снова включается в круговорот за счет деятельности азотфиксирующих бактерий и зеленых водорослей.

Для круговорота азота, как и для любого другого процесса, необходима энергия. Хемосинтезирующие бактерии, превращающие аммиак через ряд процессов в нитриты, получают энергию за счет разложения; денитрифицирующие и азотфиксирующие бактерии – за счет других источников.

Азот могут фиксировать многие бактерии, такие как свободноживущие *Azotobacter* и *Clostridium*, симбиотические клубеньковые бактерии бобовых растений, некоторые пурпурные и различные почвенные бактерии. Кроме того, показано, что водоросли и бактерии, живущие на листьях, и эпифиты тропических лесов также могут фиксировать атмосферный азот, часть которого опосредованно используется и деревьями, однако, не обнаружено ни одного высшего растения, которое могло бы самостоятельно получать азот из атмосферы и использовать его в процессе жизнедеятельности. Известно, что в биосфере в целом за год в среднем фиксируется из воздуха 140–700 мг/м<sup>3</sup> азота. В основном это биологическая фиксация, и лишь крайне незначительное количество фиксируется за счет фотохимических и электрических процессов.

**Круговорот фосфора** (рис. 3.6), в отличие от круговорота азота, является сравнительно простым процессом, хотя по своей значимости для биосферы ему не уступает. Основные запасы фосфора содержатся в различных горных породах, которые постепенно за счет вымывания и выветривания отдают фосфаты наземным экосистемам. Фосфаты потребляются, прежде всего, растениями разного уровня организации и используются ими для синтеза органических веществ, таких как аминокислоты, ферменты и др. При разложении растительных остатков и трупов животных бактериями фосфаты возвращаются в почву и затем снова используются растительными

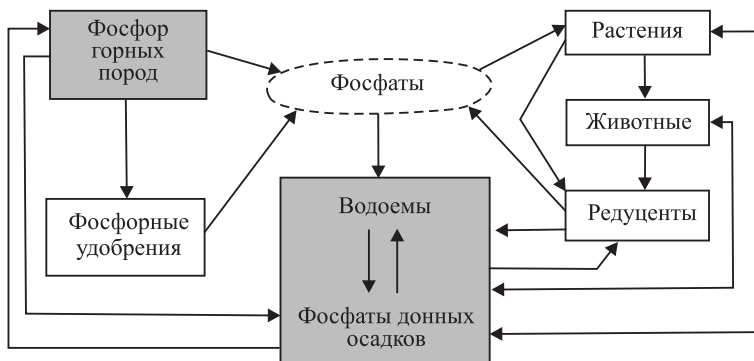


Рис. 3.6. Круговорот фосфора в природе

организмами и микробами. Помимо этого часть фосфатов выносится с паводковыми водами в море, что обеспечивает развитие фитопланктона и существование зависящих от него организмов. Часть фосфора, содержащегося в морской воде и морских организмах, может вновь возвращаться на сушу при вылове рыб, моллюсков, ракообразных, водорослей и т.д.

Фосфор – один из наиболее важных элементов живого вещества. Он принимает участие в основных биохимических реакциях, обеспечивающих жизнедеятельность организма и его целостность. В связи с высокой активностью в окружающей среде свободный фосфор является относительно редким элементом. Ежегодно человеком добывается 2–2,5 млн т фосфорсодержащих пород, используемых в качестве минерального сырья для получения ряда продуктов, при этом большая часть фосфора исключается из круговорота. Запас же таких пород ограничен, и уже в настоящее время ощущается их дефицит.

**Круговорот биогенных элементов** в значительной мере обеспечивает плодородие почв.

На суше главным источником биогенных катионов служит почва, в которую они поступают в процессе разрушения материнских пород, а также приносятся атмосферными осадками. Катионы адсорбируются корнями, а затем распределяются по разным вегетативным органам растений. В наибольшем количестве биогенные катионы накапливаются в листьях. Травоядные животные поедают растительную биомассу, травоядных животных поедают хищники или они умирают, минерализация экскрементов и трупов возвращает биогенные элементы снова в почву. В умеренных широтах большая часть минераль-

ных питательных веществ сохраняется в мощном слое гумуса, в котором создаются резервы биогенов и основных питательных веществ. Поэтому выкашивание травы, сбор опада в лесу, выпас скота, корчевка пней, выжигание растительности, снятие дерна приводит к исчезновению такого ресурса питательных веществ, как гумус. В результате этого нарушается круговорот биогенных элементов, происходит трансформация лесной экосистемы в пустошь или луг со скудной растительностью.

### **3.4.2. Основные закономерности движения энергии в биосфере**

Все преобразования веществ в процессе круговорота требуют затрат энергии. Ни один живой организм самостоятельно не продуцирует энергию, она может быть получена только извне. В современной биосфере основным источником энергии для биогенного круговорота является Солнце. По приблизительным расчетам, если энергию солнечного излучения принять за 100%, то только 15% ее достигает поверхности Земли и только 1% связывается в виде органического вещества растениями, основными продуцентами первичной продукции. Около половины этой энергии расходуется на процессы жизнедеятельности (потери на дыхание). Оставшиеся 50% идут на рост биомассы. Таким образом, чистая продукция соответствует примерно 0,5% солнечной энергии, падающей на Землю. Накопленная в процессе фотосинтеза биомасса растений (первичная продукция) – это резерв, часть которого используется в качестве пищи организмами – гетеротрофами (консументами 1-го порядка). Остальная часть – это реальное количество массы растительности в экосистеме.

По словам Одума, «экология, по сути дела, изучает связь между светом и экологическими системами и способы превращения энергии внутри системы».

Жизнь возникает и развивается в потоке энергии, которая частично аккумулируется в биосистемах в разного рода круговоротах вещества. Ранее были рассмотрены только глобальные круговороты, охватывающие всю биосферу в целом. Кроме этого, существуют и малые круговороты, характерные для отдельных экосистем. В любом многоклеточном организме также можно выделить несколько круговоротов, необходимых для жизнедеятельности, аналогичных биогеохимическим циклам биосферы.

Подобные движения вещества можно наблюдать и в цитоплазме одноклеточных организмов. Даже в небиологических системах при достаточно большой разнице сил на входе и выходе системы можно наблюдать переход ее в нелинейное состояние, иногда достаточно явно сопровождающийся возникновением циклических движений вещества или автоколебаний (например, турбулентное течение жидкости, ячейки Бернара, реакции Белоусова – Жаботинского и т.п.). Иначе говоря, внутрисистемный круговорот веществ – это и есть способ аккумулировать энергию в системе.

Движение энергии в биосфере существенно отличается от движения вещества.

Согласно *принципу роста энтропии* поток энергии направлен всегда в одну сторону, круговорот энергии невозможен. Живое вещество уменьшает энтропию части энергии, аккумулируя ее в своих структурах. Но большая часть энергии, проходя через биосферу, деградирует и покидает планету в виде низкокачественной тепловой энергии. Энергия может накапливаться, затем снова высвобождаться, но ее нельзя использовать вторично.

Принципиальная невозможность утилизации тепловой энергии на фоне прогрессирующего роста количества энергии, высвобождаемой человеком непосредственно на планете (сжигание топлива, расщепление ядра, ядерный синтез и т.п.) помимо солнечной энергии, есть один из важнейших факторов надвигающейся экологической катастрофы.

Известно, что потребление энергии человечеством на нашей планете исторически протекало крайне неравномерно и возрастало параллельно со скоростью накопления информации. Люди за всю историю своего существования израсходовали около 900–950 тыс. ТВт·ч энергии всех видов, причем почти две трети этого количества приходится на последние 40–50 лет. За последние 100 лет мировое потребление энергии увеличилось в 14 раз. Суммарное потребление первичных энергоресурсов за это время превысило 380 млрд т условного топлива со средним КПД энергетики техносферы, равным 30%.

Относительный вклад различных энергоносителей в общее использование энергии характеризуется такими средними величинами: уголь – 27%; нефть – 34, газ – 17, гидроэнергия – 6, ядерная энергия – 8,5, прочие источники – 7,5%.



Энергетическая мощность нынешней техносферы по величине приблизительно равна 6% всей продукционной мощности экосферы.

### 3.4.3. Энергетика биосферы

*Энергия* – это способность совершать работу. Несмотря на то что вся современная наука проникнута этим понятием, природа энергии до сих пор до конца не понята.

Впервые наиболее полно понятие энергии было проработано в термодинамике, что вылилось в формулировку двух наиболее основополагающих законов, описывающих свойства энергии.

Более 100 лет назад установлен *первый закон термодинамики*, или *закон сохранения энергии*, – один из фундаментальных законов физики, который нашел свое подтверждение в различных областях – от механики Ньютона до ядерной физики.

Согласно этому закону энергия не может быть уничтожена или получена из ничего, она может лишь переходить из одной формы в другую, т.е. никогда не исчезает и не создается заново.

Частным случаем данного закона является *первое начало термодинамики*, которое устанавливает взаимную превращаемость всех видов энергии: теплота  $Q$ , сообщенная неизолированной системе (например, пару в тепловой машине), расходуется на увеличение ее внутренней энергии  $\Delta U$  и совершение ею работы  $A$  против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A.$$

*Второе начало термодинамики*, или *закон возрастания энтропии*, – все реальные процессы превращения энергии сопровождаются ростом энтропии, т.е. переходом энергии в более рассеянное состояние.

Все процессы в природе подчиняются действию этих законов термодинамики и непосредственно связаны с количеством и качеством используемой энергии.

*Энтропия* – это величина, характеризующая направление естественных процессов теплопередачи и, как выяснилось, вообще любых процессов преобразования энергии.

Энтропию называют тенью энергии. В более широком смысле под энтропией понимают меру качества, т.е. меру концентрации и упорядочения энергии. Тепловая энергия с большей температурой обладает меньшей энтропией:

$$S = Q / T,$$

т.е. большим качеством, чем такое же количество теплоты при меньшей температуре. Поэтому по мере понижения температуры рабочего тела, например пара, до температуры окружающей среды можно попутно превратить часть тепловой энергии в механическую работу (тепловая машина). Чем больше качество энергии, т.е. чем больше превышение температуры пара над температурой окружающей среды, тем большее количество работы можно получить.

Разные виды энергии обладают разным качеством. Например, упорядоченное движение частиц твердого тела (механическое движение) обладает большим качеством, чем хаотичное движение этих же частиц с той же средней скоростью (тепловое движение). Поэтому любое механическое движение при наличии трения сопровождается самопроизвольным превращением части механической энергии в тепловую.

Если говорить об энергии, особенно в контексте, связанном с энергетическим кризисом, следует помнить, что энергии на Земле вполне достаточно. Теплоход, идущий по океану, двигается по морю энергии. Тем не менее он вынужден везти с собой запас угля, потому что энергия океана обладает низким качеством. Для полезного использования нужна именно высококачественная энергия, энтропия которой ниже энтропии энергии, рассеянной в окружающей среде. Энергию океана можно использовать только при наличии холодильника с более низкой температурой, чем температура океана.

Именно разность энтропий на входе и выходе энергетического потока порождает фактор, который обозначается понятием *силы*, приводящей в движение все процессы в природе. По сути, любая сила имеет энтропийную природу.

Наличие упорядоченных структур типа кристаллических решеток способствует упорядочению движения частиц за счет уменьшения их степеней свободы. Принцип роста энтропии требует роста количества степеней свободы в каждом реальном процессе превращения энергии. Поэтому все упорядочен-

ные структуры имеют тенденцию к разрушению. «Все разрушается, все умирает, все приходит в хаос» – это еще одна формулировка второго закона термодинамики.

Помимо такого разрушения есть еще один способ увеличения количества степеней свободы – усложнение структуры системы. Именно по этому пути движется глобальный эволюционный процесс. При этом природа никогда не стремится достичь полного хаоса на данном уровне системной иерархии. В этом случае эволюция Вселенной остановилась бы достаточно быстро. Как правило, в пределах данного иерархического уровня образуются некоторые устойчивые структуры, из которых строятся более высокие иерархические уровни, характеризующиеся большими значениями максимально возможной энтропии, чем на предыдущем уровне. Это дает возможность непрерывному росту энтропии.

Обычно тенденция к возникновению хаоса реализуется в стремлении вещества к рассеянию (например, растворение сахара в воде). Но в случае сложных органических соединений большой хаос (рассеяние энергии) может быть достигнут именно при концентрации вещества. Например, капельки масла, рассеянные в воде, стремятся слиться в одну большую каплю, в связи с тем что молекулы воды окутывают молекулы углеводорода масла своеобразной упорядоченной оболочкой. Чем больше поверхность масла, тем более упорядоченными оказываются молекулы воды, чего природа допустить не может, и в хаосе движения капель они обязательно рано или поздно примут состояние с наименьшей поверхностью, т.е. сольются в одну большую каплю.

Именно это, вероятно, послужило в свое время началом одноклеточной жизни. Именно так в растворе белковых молекул формируются коацерватные капли, имеющие стабильную и иногда достаточно сложную структуру и поглощающие из раствора строго определенные вещества.

В биосистемах стремление к хаосу реализуется в еще более сложных механизмах. Клетка может увеличить площадь своей поверхности, например приобрести форму эллипсоида, цилиндра (палочки) или нити, образовать корнеподобные выросты, ложноножки и т.п. Многоклеточные организмы решают подобную проблему аналогичным образом. У растений увеличивается поверхность листьев и корней. У животных в отличие от растений подобное увеличение поверхности осуществляется обычно внутри организма, чтобы не мешать движе-

нию. Достаточно вспомнить развитые поверхности кишечника, органов дыхания, кровеносной системы и т.п. Например, общая поверхность всех эритроцитов взрослого человека составляет около  $3000 \text{ м}^2$ , общая длина всех капилляров – около  $100\,000 \text{ км}$  и т.д.

Нечто аналогичное происходит и в рамках таких сверхорганизмов, как экосистемы. Здесь дифференциация достигается увеличением экологических ниш и разнообразия видов, населяющих данную экосистему, удлинением и усложнением пищевых цепей, совершенствованием внутривидовых и межвидовых отношений и т.п. Все это есть следствие принципа роста энтропии.

Таким образом, разрушение структуры, требуемое принципом роста энтропии, является необходимым компонентом жизненного процесса. Но жизнь научилась использовать разрушение во благо, поэтому разрушение не обязательно сопровождается гибелью биосистем. Умеренное разрушение, на которое накладываются определенные запрограммированные ранее ограничения, приводит к расширению и усложнению жизни. Наиболее характерно в этом отношении деление клетки. Здесь смерть и рождение слились в одном процессе.

Если движение вещества зачастую организуется в глобальный круговорот, захватывающий многие экосистемы биосферы, то движение энергии удобно рассматривать на примере какой-то одной экосистемы. Достаточно крупные экосистемы, такие как биогеоценозы, имеют все промежуточные уровни, которые проходит энергия при движении ее от состояния солнечного света до состояния теплоты, вначале утилизирующейся в буферных зонах биосферы (атмосфера, гидросфера, литосфера), а затем излучающейся в космическое пространство (в инфракрасной части электромагнитного спектра).

Вывод энтропии из организма есть неперенное условие его существования. Все процессы жизнедеятельности сопровождаются ростом внутренней энтропии организма:  $\Delta S > 0$ . Для того чтобы не погибнуть, клетка должна потребить из окружающей среды отрицательную энтропию (негэнтропию, информацию)  $\Delta S < 0$ , что равносильно выводу энтропии из организма. Для этого обычно используется энергия химических реакций. Нужно взять из окружающей среды необходимые компоненты (пища) и создать условия для протекания реакции, продуктами которой должны стать вещества, содержащие

в своей структуре больше энтропии, чем исходные компоненты. Обычно в этих реакциях разрушаются структуры более сложных молекул (например, молекул белка, жиров или углеводов). Затем эти продукты распада удаляются из организма. Себе же организм оставляет нечто, характеризующееся разницей энтропии исходных компонентов и энтропии продуктов реакции. Это нечто называется *свободной энергией*, которая по отношению к данному организму обладает отрицательной энтропией (негэнтропией) и за счет которой приводятся в движение внутренние упорядоченные процессы.

Например, глюкоза используется в организме, образуя диоксид углерода и воду. Это один из самых универсальных процессов, который лежит в основе дыхания и пищеварения. Диоксид углерода и вода удаляются из организма при дыхании, потовыделении, с экскрементами и т.п. Высвобожденная энергия претерпевает ряд превращений, обеспечивая тем самым протекание всех физиологических процессов, двигательных функций и т.п. Эту часть энергии рассматривают как траты на дыхание. Частично деградируя в каждом таком превращении, энергия постепенно полностью переходит в теплоту, которая после этого удаляется из организма в окружающую среду.

Однако не вся свободная энергия проходит через организм подобным путем. Часть свободной энергии используется на организацию ряда эндотермических реакций, т.е. связывается в сложных молекулярных структурах. В первую очередь это реакции синтеза необходимых белков, нуклеиновых кислот и т.п. В данном случае доля свободной энергии идет на упорядочение внутренней структуры организма. Эта энергия, накопленная в веществе организма, называется *продукцией*.

Некоторая доля пищи не усваивается организмом, следовательно, из нее не высвобождается энергия. Она выводится из организма вместе с экскрементами и впоследствии высвобождается из них уже другими организмами.

Ввиду наличия в своей структуре сложных молекулярных соединений данный организм может служить пищей для другого организма. При этом его структура подвергается механическому и химическому разрушению. Высвободившаяся свободная энергия используется так же, как в вышеописанном случае. Таким образом, формируется *пищевая*, или *трофическая, цепь*, в которой происходит перенос энергии через ряд организмов путем поедания одних организмов другими.

Трофическая цепь, как правило, иерархична, т.е. состоит из последовательности трофических уровней. Организмы, стоящие на каждом трофическом уровне, приспособлены природой для потребления определенного вида пищи, в качестве которой выступают организмы предыдущего трофического уровня (или нескольких предыдущих уровней). В принципе, организмы с более высоких трофических уровней также могут служить пищей на данном уровне, но это не является характерным, так как каждый следующий уровень трофической цепи аккумулирует в себе более качественную энергию и поэтому выполняет регулирующую функцию по отношению к нижним уровням (об этом будет подробнее описано далее). Другими словами, чем дальше трофический уровень от начала цепи, тем сильнее влияние организма на окружение, тем больше его возможности.

Следует отметить, что с одного трофического уровня на другой передается не вся энергия данного уровня, а только та, которая накапливается в структуре организмов данного уровня. Основная часть энергии, усвоенной консументами с пищей, тратится на их жизнеобеспечение (дыхание). В сумме с неусвоенной пищей (экскременты) это составляет в среднем порядка 90% от потребленной энергии, т.е. энергия, накопленная в структурах организмов, а значит, передаваемая на следующий трофический уровень, в среднем составляет около 10% от энергии, потребленной с пищей. Эта закономерность называется *правилом десяти процентов*.

На биосферу из космоса воздействует солнечный свет с энергией  $8,38 \text{ Дж/мин}\cdot\text{см}^2$ . Проходя через атмосферу, он ослабляется, и в ясный летний день до поверхности Земли доходит не более 67% его энергии, т.е.  $5,61 \text{ Дж/мин}\cdot\text{см}^2$ , в пасмурный день ослабление еще существенней. За день к автотрофному слою поступает в среднем  $71,6\text{--}95,5 \text{ Дж/мин}\cdot\text{см}^2$ . *Фотоактивная радиация*, используемая при фотосинтезе, составляет порядка 40% от поступившей солнечной радиации. Из нее растения связывают лишь около 1% энергии. Только эта энергия, накопленная в органической части растений, составляет первичную продукцию, которая затем может передаваться далее по пищевым цепям.

Из-за дефицита количества поступающей энергии и исходя из правила десяти процентов следует, что все трофические цепи могут иметь ограниченное количество уровней, как правило,

не больше четырех-пяти. Количество живого вещества на каждом следующем уровне примерно на порядок меньше, чем на предыдущем.

Существует и еще одно следствие, очень важное для нашей цивилизации: с энергетической точки зрения потребление животной продукции, особенно с дальних уровней цепей питания, нецелесообразно.

Особенно велики потери энергии при переходе от растений к травоядным животным. Поэтому с точки зрения роста народонаселения планеты энергетически наиболее выгодным является вегетарианство.

При нормальном питании взрослый человек потребляет 80–100 кг мяса в год. При таком рационе уже невозможно обеспечить равновесие для нынешних 7 млрд чел. планеты. При минимальном расходе мяса можно прокормить на планете только около 8 млрд чел. Переход всех людей на вегетарианство может обеспечить пищей приблизительно 15 млрд чел.

Эти цифры не зависят от успехов сельского хозяйства, а опираются только на данные энергетики экосистем. Принципиальное ограничение наложено самим Солнцем. В сельское хозяйство возможно привлечь дополнительные *энергетические субсидии*, в первую очередь от сжигания топлива и ядерных реакций.

**Агросистемы** – яркий пример дополнительно субсидируемых экосистем. Здесь дополнительная энергия поступает в виде мышечных усилий человека и животных, работы машин, использующих горючее, орошения, внесения удобрений, пестицидов и т.п. Еще в прошлом веке Мальтус предупреждал, что уже 2 млрд чел. Земля прокормить не в состоянии. Эта величина превышена только за счет энергетических субсидий в сельское хозяйство, что неумолимо приближает к себе другой аспект экологической катастрофы – тепловой, связанный с глобальным изменением климата.

Преодоление этого аспекта на современном уровне технического развития ограничено одним из фундаментальных законов природы – *принципом роста энтропии*.

Столь сложная система передачи энергии обусловлена несколькими причинами:

- во-первых, все консументы призваны вернуть вещество в круговорот. Без этого жизнь не смогла бы постоянно усложнять свои формы, т.е. рано или поздно исчерпался бы лимит



возможности роста энтропии. В рамках всей Вселенной это противоречит самим принципам ее существования;

- во-вторых, чем сложнее трофическая сеть данной экосистемы, тем интенсивнее круговорот вещества. Это облегчает поток энергии через экосистему;

- в-третьих, консументы – это не просто «пассивные едоки». Удовлетворяя свои потребности в энергии, они регулируют всю деятельность экосистемы, т.е. являются основными звеньями механизмов гомеостаза экосистем. Причем реализуемые ими обратные связи могут быть не только отрицательными (выедание, т.е. уменьшение биомассы предыдущего уровня трофической цепи), но и положительными. Многие животные разными способами «ухаживают» за своими кормовыми растениями или как-то иначе способствуют их росту. Например, злаки, листья которых объедают кузнечики, быстрее восстанавливаются, чем злаки с обрезанными листьями.

При движении вдоль пастбищной пищевой цепи от одного уровня к другому вместе с уменьшением количества живого вещества на каждом уровне увеличивается качество энергии, запасенной в этом веществе.

Для того чтобы образовать 1 кДж биомассы хищника, требуется около 10 000 кДж энергии солнечного света, или 10 кДж биомассы травоядных животных (под биомассой понимают живое вещество, выраженное в сухой массе или энергетическом эквиваленте). Соответственно качество энергии, накопленной в биомассе хищников, в 10 раз выше, чем в биомассе травоядных. Это более высокое качество проявляется в управляющем воздействии, которое оказывают организмы данного трофического уровня на организмы предыдущего уровня. Хищники регулируют жизнь травоядных, в свою очередь травоядные регулируют фитоценоз.

Рассмотренный принцип характерен не только для биосистем, но является общим для всех процессов преобразования энергии. Любым потоком энергии можно управлять только с помощью энергии более высокого качества. С помощью электроэнергии достаточно просто управлять потоками тепловой энергии, но вот добиться обратного можно только, если предельно повысить качество тепловой энергии, например существенно увеличив ее температуру. Электроэнергия имеет достаточно высокое качество по сравнению с другими видами энергии, поэтому именно она наиболее часто используется.



Для того чтобы получить энергию более высокого качества, требуется пройти цепь превращений энергии, аналогичную пищевой цепи экосистемы. С каждым звеном этой цепи качество энергии будет повышаться, но только за счет уменьшения того количества энергии, которое удалось сконцентрировать в данном преобразовании. Например, возможно получить электроэнергию, сжигая уголь. Но на каждые 500 кДж энергии, выделившейся при сжигании угля, можно получить только 125 кДж электроэнергии. Остальная энергия будет рассеяна как плата за увеличение качества отдельной порции энергии. Это прямое следствие *принципа Онзагера*: можно добиться уменьшения энтропии (повышения качества энергии) в одном из процессов только за счет еще большего увеличения энтропии в других процессах, сопряженных с ним.

На формирование 500 кДж, полученных при сжигании угля, затрачивается около 1 000 000 кДж солнечной энергии, т.е. солнечная энергия обладает сравнительно низким качеством. Для того чтобы солнечный свет выполнял ту же работу, которая производится сейчас углем или нефтью, нужно сконцентрировать его в 2000 раз. Поэтому надежды человека на непосредственное использование солнечной энергии связаны со значительными затратами на создание соответствующих технических устройств.

Таким образом, с каждым шагом вдоль трофической цепи возрастает степень управляющего воздействия организмов на природу. Внешне это выражается в усложнении и совершенствовании структуры организмов по ходу трофической цепи. В некоторых случаях это можно наблюдать путем простого сравнения анатомии животных, например птицы и гусеницы. Но если, например, сравнить анатомию тигра и оленя, то особых различий, говорящих о более сложном и совершенном строении тигра, найти непросто. Здесь определяющее значение имеют не столько особенности строения тела, сколько различия в сложности мозговых структур. Другими словами, по мере повышения качества энергии с каждым трофическим уровнем это качество реализуется не только в усложняющейся с каждым шагом физиологии организмов, но и во все более усложняющемся поведении, во все более развитой психике, вплоть до возникновения сознания у человека.

Это еще раз подтверждает сложность самого понятия энергии, которая в данном случае поворачивается к нам достаточно непривычной стороной, а именно, как мера хранения ин-

формации, расходуемой в процессах управления. Поэтому, согласно современным представлениям, *информация* есть мера концентрации энергии, т.е. величина, обратная энтропии.

Длительное существование жизни на Земле, которое невозможно без непрерывного использования минеральных веществ, обязано описанному выше процессу круговорота вещества и движению энергии. Если бы в биосфере не было биотического круговорота и абиотические (минеральные) продукты расходовались бы только на восполнение и поддержание жизни, то в силу их конечности рано или поздно они бы исчерпались и жизнь прекратилась как планетарное явление.

Однако в природе наблюдается непрерывный процесс создания и разрушения органического вещества с возвращением полученных простых минеральных соединений в следующие циклы использования (биотический круговорот), которые протекают непрерывно. Иными словами, все вещества в порядке циркуляции прошли через живое вещество за время существования биосферы тысячи, даже миллионы раз. При этом интенсивность жизнедеятельности всех трех основных слагаемых органического мира (продуцентов, консументов и редуцентов) обязательно находится во взаимном равновесии, которое устанавливалось миллионами лет эволюции биосферы. Подобное равновесие было неизменным условием существования биосферы и основным ее свойством, несмотря на глобальные, зачастую катастрофические геологические, географические или космические преобразования, происходившие на Земле на протяжении ее длительной истории. Это позволяет рассматривать биосферу как саморегулирующуюся систему, если, конечно, она не подвергается несбалансированному и эволюционно незакрепленному воздействию каких-то иных факторов и, прежде всего, антропогенного происхождения.

### 3.5. Антропогенные факторы

Момент появления человека разумного стал ключевым в направлении эволюции биосферы.

Человек, несомненно, неразрывно связан с живым веществом, с совокупностью организмов, одновременно с ним существующих или существовавших до него. По отношению к человеку как биологическому виду в полной мере применим *принцип Реди*: всякий живой организм происходит от другого живого организма.

В силу целого ряда причин человек сумел адаптироваться к любым изменениям среды за счет приспособления и подчинения условий среды обитания к своим потребностям. На современном уровне знаний нет четких ответов на вопрос о причинах возникновения такого абсолютного доминирования одного вида над всеми остальными существующими биологическими видами.

Первые люди существовали под властью природы и являлись ее естественным компонентом. Экологическая ниша этого вида определялась прежде всего его положением в трофических цепях. По своему положению человек в них является консументом. Как и всякое животное, человек – гетеротроф, а по типу своего питания – *полифаг*, т.е. способен питаться пищей разного рода. Однако многие современные исследователи считают, что природой человек более всего предназначен и приспособлен к потреблению растительной пищи – зерновых и плодов, о чем свидетельствует ряд морфофизиологических и биохимических особенностей организма человека. Сейчас же он занимает положение на вершине трофических пирамид, являясь хищником высшего порядка и питаясь разнообразными видами пищи по сравнению с другими хищниками. Вернадский считал, что вечный голод и способность человека легко приспосабливаться к использованию любых видов органической пищи позволили человеку занять главенствующее и управляющее положение в эволюции биосферы.

Численность первых людей была невелика и контролировалась различными природными факторами в занимаемой экологической нише: с одной стороны – хищниками и паразитами, с другой – конкурирующими видами человекообразных, внутривидовой борьбой. Кроме того, во времени численность человека регулировалась истощением кормовых ресурсов на занимаемом ареале. По возможностям географического распространения *Homo sapiens* (человек разумный) является *панойкуменным* видом, т.е. способен обитать на различных участках и в различных климатических зонах планеты, хотя как биологический вид человек может обитать только в пределах суши экваториального пояса (в тропиках и субтропиках) до высоты 3–3,5 км над уровнем моря. Жизненная необходимость вынуждала людей совершать периодическое по мере истощения кормовых ресурсов и изменения климата географическое расширение ареала, а биологические свойства требовали создания искусственных условий для выживания в изменившихся

условиях среды. Любой другой вид животных либо исчез при этих условиях, либо трансформировался в другой вид за счет мутаций, вызванных изменением условий среды. Человек, наоборот, сохранился неизменным как биологический вид и только существенно увеличил свою численность.

Современный человек расширил границы местообитания: расселился во всех широтах, освоил глубины океана и космическое пространство. Однако за пределами первоначального ареала он выживает не благодаря физиологической адаптации, а с помощью специальных защитных устройств и приспособлений (отапливаемые жилища, одежда, кислородные приборы и т.д.). Они имитируют среду обитания человека подобно тому, как это делается для экзотических животных и растений в зоопарках, ботанических садах, океанариях.

Выход человека из-под контроля среды начался примерно 10 тыс. лет назад, когда впервые появились признаки сельского хозяйства. Именно тогда люди перестали зависеть от ресурсной кормовой базы и начался постепенный рост их численности, больший, чем предусмотрено законами равновесного состояния биосферы.

Биосфера как единая биологическая система обладает соответствующей емкостью и при всей естественной мощности своих природных ресурсов способна прокормить лишь ограниченное количество живых организмов, в том числе и людей. Человек обошел и это фундаментальное ограничение. За счет создания искусственных экосистем, максимального использования энергетических ресурсов и биомассы биосферы с помощью искусственных процессов человек обеспечил процветание своего вида за счет безвозвратного изъятия вещества и энергии из естественного глобального биотического круговорота.

Известно, что на первых этапах эволюции биосферы преобладал общебиосферный круг обмена, но в дальнейшем он стал в большей степени формироваться малым (биоценотическим) кругом биотического круговорота. Это связано с тем, что вместо относительно гомогенной биоты появились и все глубже дифференцировались экосистемы различного уровня иерархии и географической дислокации. Возник так называемый *обмен обменов* – стройная система биогеохимических круговоротов с высочайшим значением биотической составляющей.

Деятельность человека ведет опять к гомогенизации систем биосферы за счет разрушения естественных экосистем с заменой их на монотонные агросистемы, однообразные по биогеохимическим характеристикам культурные ландшафты. При этом неизбежно снижается степень замкнутости биогеохимических циклов. Крайним проявлением негативного влияния антропогенных факторов на организацию биосферы являются агро- и урбоэкосистемы.

По закону исторического развития биологических систем (закону Бауэра) внутренняя устойчивая связь явлений природы – результат увеличения эффекта внешней работы биосистемы (воздействия организма на среду) в ответ на полученную из внешней среды единицу энергии.

Физико-математическое подтверждение вышеназванных обобщений дает теорема порога возрастания энтропии в биосфере, или теорема К.С. Тринчера, выведенная в 1964 г.: продукция энтропии живым веществом биосферы возрастает до порога, определяемого уравнением

$$\frac{dS_{sp}}{dt} = \left( \frac{dS_{sp}}{dt} \right) (1 - e^{-t/r}),$$

где  $S_{sp}$  – специфическая энтропия одного вида живого;  $t$  – абсолютное время;  $r$  – единица биологического (системно характерного) времени;  $e$  – основание натурального логарифма.

Важно здесь то, что минимум энтропии возникает при равномерном распределении веществ в системе. Человеческая деятельность нарушает эту неравномерность, делает живое вещество гомогенным или даже видоизменяет энтропийные и неэнтропийные процессы.

Произведенный человеком в борьбе за существование сдвиг равновесного состояния биосферы и физико-химических процессов, определяющих его, является необратимым и непоправимым во времени. Он неизбежно приведет к возникновению иной жизненной сущности, иной сферы жизни.

### 3.5.1. Классификация антропогенных факторов

Произведенный человеком в борьбе за существование сдвиг равновесного состояния биосферы и физико-химических процессов, определяющих его, вызван появлением в си-

стеме *биосфера ↔ средообразующие факторы среды* такого фактора, как антропогенный, т.е. связанного с непосредственным существованием и деятельностью биологического вида *Homo sapiens*.

Единой общепринятой классификации антропогенных факторов до настоящего времени не существует. Наиболее полно значение антропогенных факторов и их место в экологии, на наш взгляд, отражает классификация антропогенных экологических факторов, предложенная А.Г. Стадницким и А.И. Родионовым (рис. 3.7). Предлагаемая классификация учитывает не воздействие антропогенных факторов, которое лежит в основе других классификаций, а именно природу и источник каждого фактора.

В соответствии с их классификацией по своему воздействию антропогенные факторы подразделяются на факторы нецеленаправленного происхождения и целенаправленного назначения.

**Факторы нецеленаправленного происхождения** подразделяются на *абиотические* и *биотические*. В свою очередь, абиотические антропогенные факторы подразделяются на *физические* и *химические*. Физические и химические факторы нецеленаправленного происхождения непосредственно являются результатом технологических процессов в промышленном производстве. В этой категории выделены *биологические* антропогенные факторы. Своим происхождением они обязаны самоинтродукции *синантропных видов*, происходящей в процессе транспортировки товаров, эмиграции людей, возникновению эпидемий и пандемий, а также развитию биологических методов борьбы с сельскохозяйственными вредителями.

**Факторы целенаправленного назначения** подразделяются на *абиотические* и *биотические*. Абиотические антропогенные факторы целенаправленного назначения также подразделяются на *физические* и *химические*. К химическим антропогенным факторам целенаправленного назначения относится весь спектр продуктов химических и фармацевтических производств, которые прямо или опосредованно попадают в окружающую среду. К физическим антропогенным факторам целенаправленного назначения относятся все приборы, оборудования и устройства, используемые в жизнедеятельности человека.

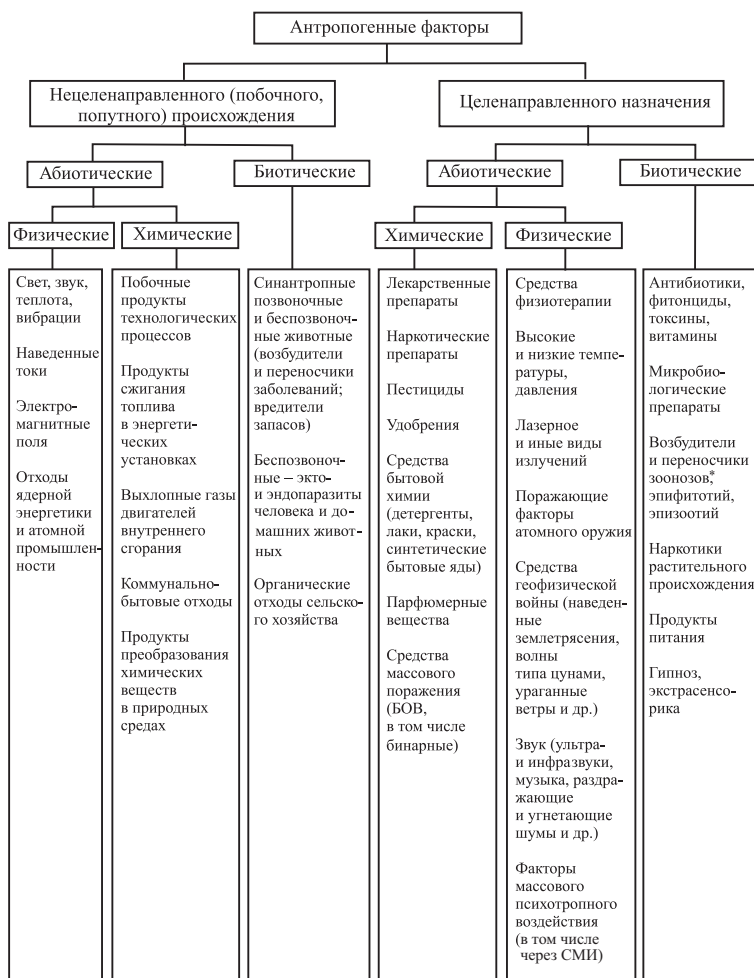


Рис. 3.7. Классификация антропогенных экологических факторов:  
 БОВ – боевые отравляющие вещества; СМИ – средства массовой информации

Биотические антропогенные факторы целенаправленного назначения представляют из себя препараты микробиологической промышленности: сознательная интродукция синан-

\* Зоонозы – инфекционные и паразитарные заболевания животных, а также болезни, передающиеся от животных человеку (чума, сеп, сибирская язва, бешенство и др.).

тропных видов животных и растений, являющихся резервуаром зоонозов, эпифитий, эпизоотий в рамках создания агробиоценозов; продукты питания населения, в том числе *генномодифицированные продукты* (ГМП); активное изменение информационного поля за счет изменения сознания человека.

Антропогенные факторы проявляются в форме тех или иных *воздействий* на среду обитания человека (см. далее – гл. 5).

Существующее ныне определяющее влияние на структуры биосферы, ее функционирование и эволюцию в настоящем и будущем оказывают именно антропогенные факторы, непосредственно связанные с эволюцией вида *Homo sapiens* и его развитием в сторону техногенного обеспечения своего процветания – *техногенеза*.

### 3.5.2. Агрэкоэкосистемы

Возникновение оседлого сельского хозяйства, в результате которого воздействие человека на биосферу по сравнению с ранее существовавшим кочевым хозяйством увеличилось во много раз, связывают с началом неолита (VIII–III тыс. до н.э.). При этом в освоенных человеком районах начинается прежде всего, быстрый рост населения благодаря появлению стабильного источника пищевых ресурсов.

С этим периодом развития человеческой популяции связывают разработку приемов и способов обработки земли для возделывания пищевых культур, совершенствование технологии содержания скота. Произошедшие преобразования в эволюции человеческой цивилизации называют *второй технической революцией*. Развитие сельского хозяйства во многих случаях сопровождалось полным искоренением первоначального растительного покрова на обширных пространствах, на которых освобождалось место для незначительного количества видов растений, отобранных человеком и наиболее пригодных для его питания и создания запасов. Эти виды растений постепенно окультуривались, организовывалось их постоянное возделывание с целью получения наибольшей массы полезной продукции.

Распространение сельскохозяйственных культур и развитие технологий содержания скота оказало огромное, нередко катастрофическое, влияние на наземные экосистемы.



Уничтожение лесов на обширных территориях, нерациональное использование земель умеренных и тропических зон безвозвратно разрушило исторически сложившиеся здесь экосистемы. Вместо естественных биоценозов, экосистем, ландшафтов появились агроэкосистемы, агроценозы, агросфера, аграрные ландшафты и т.д.

**Агроэкосистема** – созданное с целью получения сельскохозяйственной продукции и регулярно поддерживаемое человеком биологическое сообщество, обладающее малой экологической надежностью, но высокой урожайностью (продуктивностью) одного или нескольких аборигенных видов (сортов, пород) растений или животных.

Агроэкосистемы, как и естественные экосистемы, состоят из множества взаимосвязанных биологических, физических и химических компонентов.

Процессами производства пищевых ресурсов на основе использования почвенно-климатического потенциала в настоящее время охвачены огромные площади планеты, представленные разномасштабными (от парцелл до крупных возделываемых массивов) агроэкосистемами. Значительное разнообразие их по размерам, целевому назначению, используемым технологическим системам пока ограничивает возможность разработки универсальной схемы типизации этих образований.

Отсутствие общепринятой классификации агроэкосистем восполняется в известной мере типизацией структур земледелия, применяемой продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО). Согласно этой типизации выделено пять видов землепользования, по каждому из которых классифицированы агроэкосистемы.

1. Земледельческое, или полевое, землепользование – бобовые, орошаемые агроэкосистемы (ротации зерновых, бобовых, кормовых, овощных, бахчевых, технических и лекарственных культур).

2. Плантационно-садовое землепользование – плантационные агроэкосистемы (чайный куст, дерево какао, кофейное дерево, сахарный тростник), садовые агроэкосистемы (плодовые сады, ягодники, виноградники).

3. Пастбищное землепользование – пастбищные агроэкосистемы (отгонные пастбища: тундровые, пустынные, горные; лесные пастбища; улучшенные пастбища; сенокосы; окультуренные луга).

4. Смешанное землепользование – смешанные агроэкосистемы, характеризующиеся равнозначным соотношением и сочетанием нескольких видов землепользования, а также процессов получения как первичной, так и вторичной биологической продукции.

5. Землепользование в целях производства вторичной биологической продукции – агропромышленные экосистемы (территории интенсивного индустриального производства молока, мяса, яиц и другой продукции на основе преобладающих процессов снабжения системы веществом и энергией извне).

Выделяют следующие единицы в биосфере по отношению к сельскохозяйственной деятельности человека.

**Агросфера** – глобальная система, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека.

**Агроценозы** – биоценозы на землях сельскохозяйственного пользования, созданные с целью получения сельскохозяйственной продукции, регулярно поддерживаемые человеком биотические сообщества, обладающие малой экологической надежностью, но высокой продуктивностью (урожайностью) одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных.

**Аграрный ландшафт** – экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного и т.д.).

В настоящее время условно выделяют агроэкосистемы доиндустриального и индустриального периодов.

**Доиндустриальные агроэкосистемы**, эксплуатируемые до начала XX в., были достаточно разнообразны. Ограниченные районы многоотраслевого оседлого хозяйства перемежались значительными пространствами целинных земель; сохранились реликтовые лесные массивы; пояс тропических лесов был практически не затронут хозяйственной деятельностью человека; их территория характеризовалась незначительным изменением мест обитания традиционных видов животных и растений. Эти агроэкосистемы включали в себя и базировались на своих первичных производителях (дикорастущие растения), которыми человек питался непосредственно или косвенно через дичь, домашних животных.

Первичные производители агроэкосистем (автотрофы) обеспечивали человека растительным волокном, лесоматериалами, пищевыми компонентами. Человек являлся основным кон-



До XIX в. в процессе аграрной цивилизации использовалась энергия, которая была накоплена в течение одного вегетационного периода первичными консументами, а также аккумулярованная в течение многих лет деревьями. Общее же количество используемой одним человеком энергии (около 22 000 ккал/сут) лишь вдвое превышало энергопотребление человеком неолита (около 10 000 ккал/сут).

Таким образом, при становлении доиндустриальной аграрной цивилизации экосистема имела высокий уровень гомеостаза. Несмотря на антропогенное изменение или замещение экосистем, деятельность человека вписывалась в биогеохимический круговорот и незначительно изменяла приток энергии в биосферу.

Необратимые, глобальные изменения биосферы Земли под влиянием сельскохозяйственного производства резко усилились в XX в. В связи со значительным ростом населения и сокращением площадей высокоурожайных земель в 70–90-х гг. XX в. началось повсеместное внедрение интенсивных технологий (монокультуры; высокопродуктивные, но незащищенные сорта, полученные путем гибридизации; агрохимикаты; травмирующие приемы вспашки и т.д.), что сопровождалось водной и ветровой эрозией, вторичным засолением, почвоутомлением, деградацией почв, обеднением эдафона и мезофауны, уменьшением лесистости, увеличением распаханности и т.д.

*Агроэкосистемы индустриального типа* имеют ряд отличий от естественных экосистем и доиндустриальных агроэкосистем:

- представляют собой вторичные, искусственно созданные человеком, структурные единицы биосферы;
- ведущим является не естественный, а искусственный отбор;
- видовой состав менее разнообразен по сравнению с природными биоценозами. Смена видового состава в агроценозах происходит не естественным путем, а по воле человека;
- значительная доля основных биогенов выносятся с урожаем из системы, и естественный круговорот веществ не осуществляется. Часть вещества в агроценозах безвозвратно изымается из экосистемы. При высоких нормах внесения удобрений для отдельных элементов может наблюдаться явление, когда величина входа элементов питания в растения из почвы оказывается меньше величины поступления элементов питания в почву из разлагающихся растительных остатков и удо-

брений. С хозяйственно полезной продукцией в агроценозах отчуждается 50–60% органического вещества от его количества, аккумулированного в продукции;

- человек вносит в агроэкосистемы дополнительную энергию в виде удобрений, дополнительного освещения, средств защиты растений и т.д.;

- требуют постоянного ухода со стороны человека и только в этом случае могут быть высокопродуктивными. Саморегуляция в них отсутствует, и без поддержки человека они быстро разрушаются. Для достижения своей цели человек в агроценозе вынужденно изменяет или контролирует в какой-то мере влияние природных факторов, дает преимущества в росте и развитии организмам, которые продуцируют пищу. Основная задача создания и эксплуатации агроэкосистемы – найти условия повышения урожайности при минимализации энергетических и вещественных затрат, повышении почвенного плодородия;

- человеком применяются различные химические вещества, не свойственные глобальному биотическому круговороту, которые неизбежно встраиваются в него и прямо или косвенно влияют на устойчивость природных экосистем.

В агроэкосистемах складываются весьма специфические взаимоотношения между организмами, их формирующими.

Основными элементами агробиоценоза в агроэкосистемах являются культурные растения, высеянные или высаженные человеком; сорные растения, которые проникли в агробиоценоз помимо, а иногда и вопреки воле человека; микроорганизмы ризосфер культурных и сорных растений; клубеньковые бактерии на корнях бобовых, связывающие свободный азот воздуха; микоризообразующие грибы на корнях высших растений; бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли, свободно живущие в почве; беспозвоночные животные, живущие в почве и на растениях; позвоночные животные (грызуны, птицы и др.), живущие в почве и посевах; грибы, бактерии, вирусы – паразиты (полупаразиты) культурных и сорных растений; бактериофаги – паразиты микроорганизмов.

Размер популяций отдельных входящих в агробиоценоз видов колеблется из-за постоянных изменений абиотических и биотических факторов.

Посевы культурных растений в агрофитоценозе являются единственным источником питания для травоядных животных и насекомых-фитофагов. В благоприятные для роста растений

периоды популяции продуцентов могут резко и быстро увеличиваться. Обычно наносит большой ущерб сельскохозяйственным культурам массовое размножение травоядных и насекомых-фитофагов. Естественное регулирование их численности и доведение их популяций до экономически безвредного порога путем использования их естественных врагов-хищников сложно и не всегда дает хорошие результаты. Отсюда в сельскохозяйственной практике осуществляется искусственное вмешательство и регулирование численности фитофагов за счет использования различных искусственных средств защиты, которые являются остротоксичными веществами.

Анализ основных трофических цепей в агроэкосистеме обычно показывает, что биофаги (фитофаги, хищники, паразиты) активно влияют на собственную численность путем частичного использования или разрушения предшествующего звена трофической цепи, которое служит им источником энергии. Биофаги путем преобразования поглощенных веществ создают специфические источники энергии для последующих звеньев: ткани собственного тела – для биофагов, экскременты – для капрофагов, трупы – для некрофагов. Таким образом, биофаги (сапрофаги) пассивно определяют энергетический обмен у сменяющих их консументов.

Некоторые процессы в агроэкосистемах происходят не так, как в природных системах. Скорость инфильтрации воды в природных экосистемах выше, что существенно снижает и поверхностный сток, и вероятность развития эрозии почвы. В естественных условиях эрозию сдерживает также растительный покров, сохраняющийся в течение всего года.

Потери влаги в природной экосистеме обычно выше. Вследствие больших потерь влаги по почвенному профилю перемешается меньший объем воды, что снижает вымывание и поступление в грунтовые воды питательных веществ.

В природных экосистемах в больших количествах содержатся органические коллоиды, которые обеспечивают ионообменную и водоудерживающую способность почвы. Потери почвой коллоидов в агроэкосистемах вызваны окислением и разрушением органического вещества, что происходит в результате длительной обработки почвы, а также при орошении. Параллельно окислению органического вещества происходит и интенсивная минерализация, что ведет к значительным потерям его подвижной части. В агроэкосистемах процессы

окисления и минерализации усиливаются вследствие снижения густоты растительного покрова и повышения температуры почвы.

В природных экосистемах способность растений поглощать элементы питания выше, чем скорость образования доступных их форм в почве. Растения природных экосистем имеют более разнообразную корневую систему, что позволяет полнее использовать почвенный профиль. Интенсивная агротехника, при которой уменьшается разнообразие возделываемых культур, не только снижает эффективность использования влаги, но и увеличивает угрозу потери питательных веществ при вымывании их за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

Естественные экосистемы выполняют три основные жизнеобеспечивающие функции – место, средство, условия жизни. Агроэкосистемы в отличие от них формируются для получения максимально возможного количества продукции, служащей первоисточником пищевых, кормовых, лекарственных и сырьевых ресурсов, т.е. функции агроэкосистем в основном ограничиваются предоставлением средств жизни. В этом главная причина преобладания ресурсоемкого и природоразрушающего типов агроэкосистем.

Существующие агроэкосистемы достигли максимума возможного развития. Дальнейшее усиление интенсификационных мероприятий без увеличения площадей не могут принести того эффекта, на который рассчитывают, и оправдать внешние энергетические затраты. Выход конечной продукции (пищи) не соответствует масштабам затрат.

Дальнейшим приоритетом развития сельскохозяйственного производства должны стать природосообразные агроэкосистемы. Добиться этого можно лишь при выполнении агроэкосистемами в полной мере функций воспроизводства и сохранения условий жизни. Формирование агроэкосистем (а в большей мере реконструкция их, поскольку доля вновь образуемых агроэкосистем невелика по сравнению с уже исторически сложившимися) должно отвечать главному требованию: *быть природоохранными*.

### 3.5.3. Урбозкосистемы

*Урбозкосистема* (городская экосистема) – пространственно ограниченная природно-техногенная система, сложный комплекс взаимосвязанных обменом вещества и энергии авто-



номных живых организмов, абиотических элементов, природных и техногенных, создающих городскую среду жизни человека, отвечающую его биологическим, психологическим, эстетическим, этническим, трудовым, экономическим и социальным потребностям.

Процесс роста и развития городов получил название *урбанизации*. Этот поступательный процесс особенно ярко проявился в эпоху научно-технической революции. Если городское население Земли в 1800 г. составляло всего лишь 3%, в 1900 г. – 13,6%, то в 2000 г. в городах мира проживала почти половина населения планеты.

*Город* является одним из видов социальной и пространственной организации населения, возникающий и развивающийся на основе концентрации промышленных, научных, культурных, административных и других функций. Город – это населенный пункт, как правило, с численностью жителей свыше 10 тыс. чел., преобладающее большинство которых заняты в отраслях, не связанных с сельским хозяйством. Город – рукотворный объект строительной деятельности человека. Философы связывают появление городов с процессом разделения труда, повлекшим за собой возникновение частной собственности и государства. Город древний, феодальный, раннекапиталистический, индустриальный, постиндустриальный имеет свои отличительные признаки, обусловленные социально-экономическим укладом. Но город живет дольше, чем социально-экономический строй общества. Поэтому отдельные территории древних городов и городов феодализма являются частью территорий некоторых современных городов. Внешними и социальными чертами современного города являются многоэтажное строительство, широкое развитие общественного транспорта и каналов связи, превышение застроенной и заощенной частей территории над садово-парковыми пространствами.

Город выполняет преимущественно производственные, транспортные, торговые, культурные и административно-политические функции.

Настоящим веком урбанизации явился XX век. Мощное индустриальное развитие стран в этот период способствовало быстрому развитию городов. А демографический взрыв второй половины XX в. вызвал ускорение темпов роста городского населения во всем мире (табл. 3.3).



Таблица 3.3. Рост городского населения за 1950–2000 гг.  
(В.А. Хомич, 2002)

Показатели	Годы			
	1950	1970	1990	2000
Население Земли, млн чел.	2515	3698	5328	6000
Городское население, млн чел.	734	1391	2234	2820
Городское население, %	29	37	42	47

За последние 50 лет численность городских жителей возросла с 734 млн до 2820 млн чел., т.е. увеличилась в 4 раза, а их доля в общей численности населения возросла с 29 до 47%. По данным Программы развития ООН, доля городского населения Земли в 2015 г. достигнет 53,5%.

Для современного этапа урбанизации характерно увеличение числа агломераций.

*Городская агломерация* – это территориально-экономическая интеграция групп плотно расположенных и функционально связанных населенных мест, различных по величине и народнохозяйственному профилю. Развитие агломераций формирует города-мегаполисы.

В последней трети XX в. в развитых странах наметилась тенденция замедления скорости миграции населения в города, развиваются процессы деурбанизации.

*Деурбанизация* – сокращение населения и относительного производственного потенциала крупных городов. Основной причиной деурбанизации является ухудшение природной среды и, как следствие, санитарно-гигиенических условий жизни в крупных городах. Переселение жителей из мегаполисов в пригородные зоны сопровождается ростом городов в периферийных районах.

Урбанизация создала материальный, интеллектуальный, научно-технический и организационный потенциалы развития общества.

Вместе с этим урбанизация сопровождается градостроительной деятельностью, развитием коммунально-бытового хозяйства и промышленного производства, ростом автомобилизации. Все это при больших концентрациях населения и высоких техногенных нагрузках в городах способствует загрязнению и изменению природной среды, вызывает целый комплекс экологических проблем.

**Городская среда** – это совокупность антропогенных объектов, компонентов природной среды, природно-антропогенных и природных объектов.

*Антропогенные объекты* искусственной городской среды занимают основную часть территории города. К ним относятся жилые, общественные и промышленные здания, улицы, магистрали, площади, подземные переходы, стадионы, телебашни и иные сооружения, а также транспортные и другие передвижные и технические средства. Антропогенные объекты делятся на градостроительные, производственные и объекты городских инфраструктур: транспортной, инженерной и социальной.

*Компонентами природной среды* города являются атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, грунты, солнечный свет. Это компоненты среды обитания, без которых жизнь человека и других организмов невозможна.

К *природно-антропогенным объектам* относятся городские леса, парки, сады, озелененные территории жилых и промышленных районов, бульвары, скверы, защитные зоны, каналы, водохранилища и т.п.

*Природными объектами* города являются памятники природы.

Таким образом, городская экосистема состоит из биотической составляющей, основными представителями которой являются люди (жители города), и абиотической составляющей (городской среды). Городская среда представлена природной и антропогенной составляющими, т.е. природной средой города и искусственной городской средой (антропогенными объектами). При этом природная среда и искусственная городская среда взаимосвязаны и взаимозависимы. Природная среда определяет градостроительные решения при создании искусственной городской среды. В свою очередь, искусственная городская среда как архитектурно-планировочная структура влияет на микроклимат города. Кроме того, производственные и другие антропогенные объекты воздействуют на природную среду города через хозяйственную и иную деятельность (рис. 3.9).

Город – экологическая система, в которую входят две subsystemы – природная и антропогенная. Природная subsystem включает природную среду города и его биоту и делится на четыре subsystemы. Антропогенная subsystem включает все антропогенные объекты города и делится на три subsystemы. В свою очередь, каждая из subsystem делится на системы более низкого ранга (рис. 3.10).

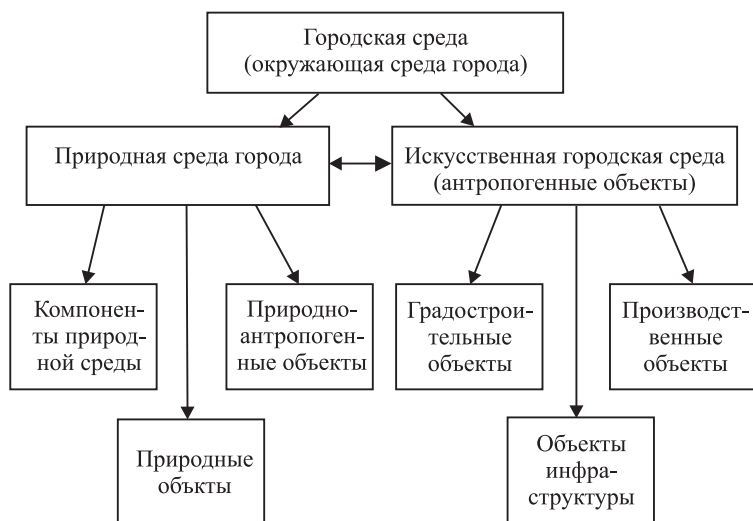


Рис. 3.9. Структура городской среды (В.А. Хомич, 2002)

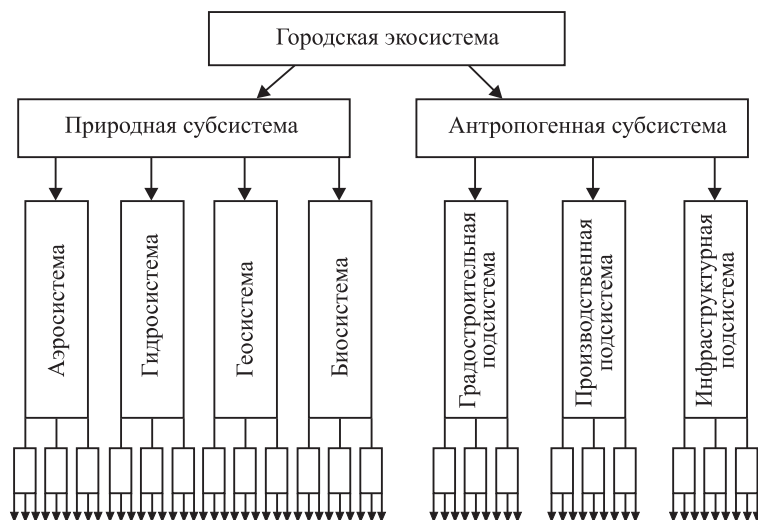


Рис. 3.10. Структура городской экосистемы

Города как искусственные экологические системы отличаются от естественных экосистем. Городские системы гетеротрофны. Они характеризуются огромной потребностью

в энергии. При этом солнечную энергию дополняет концентрированная энергия топлива.

Суммарное потребление энергии человеком в городах развитых стран составляет в среднем 335 ГДж/год. С пищей он потребляет лишь 4 ГДж/год, следовательно, на все другие виды деятельности (трудовую, транспортную, ведение домашнего хозяйства, досуг, освещение и отопление квартир, работу предприятий и др.) он расходует в 80 раз больше энергии, чем это требуется для физиологического функционирования организма.

*Жизнедеятельность города* – это последовательность непрерывных потоков энергии, веществ и продуктов их переработки. Интенсивность этих потоков зависит от численности и плотности городского населения, статуса города – вида и развития промышленности, объема и структуры транспорта.

Городская система, в отличие от естественной, не может быть саморегулирующейся. Все процессы жизнедеятельности города (потребление энергии, природных ресурсов, пищевых продуктов) должно регулировать общество.

Потоки веществ и энергии, а также продуктов их переработки, поступающие на территорию города, нарушают материальный и энергетический баланс природной среды и изменяют естественные процессы круговорота веществ и перехода энергии по трофическим цепям. Город – это неравновесная система. Состояние неравновесности определяется масштабом антропогенных нагрузок города на окружающую среду. Показателями антропогенных нагрузок являются: плотность населения, площадь застроенных и заощенных территорий, нагрузки от тяжести зданий и сооружений, объемы промышленного производства, уровень автомобилизации и т.п.

Считается, что территория находится в состоянии *полного экологического равновесия*, если природная среда обеспечивает воспроизводство своих компонентов, фито- и зоомассы этих территорий сбалансированы и сложившееся биоразнообразие сохранено, степени геохимической активности ландшафтов и биохимической активности экосистем соответствуют уровню антропогенных загрязнений, а уровень физической устойчивости ландшафтов – силе техногенных нагрузок. Полное экологическое равновесие зависит от климатических и гидрологических условий местности, лесистости, хозяйственного освоения территории и т.д.

Полное экологическое равновесие освоенных территорий практически недостижимо. Поэтому кроме полного различают условное и относительное экологическое равновесие территории. При *условном экологическом равновесии* компоненты природной среды не воспроизводятся в полной мере. При *относительном экологическом равновесии* не соблюдаются условия как воспроизводимости компонентов природной среды, так и баланса биомассы. При этом геохимическая, биохимическая активности, а также физическая устойчивость территории соответствуют антропогенным воздействиям.

Экосистемы малых городов, городов-экополисов в принципе могут находиться в состоянии относительного экологического равновесия. Однако экосистема большого города, а тем более мегаполиса, далека от состояния экологического равновесия. Для воспроизводства компонентов природной среды требуются обширные территории. Природно-антропогенные и природные объекты плотно застроенного и замощенного асфальтом города воспроизвести компоненты природной среды не могут. Баланс биомассы в городе полностью нарушен. Геохимическая и биохимическая активности территорий больших городов также оказываются недостаточными для нейтрализации загрязнений окружающей среды. Устойчивость городских территорий нарушается под воздействием физических антропогенных нагрузок. Поэтому количественные показатели репродуктивной способности, геохимической активности, экологической емкости городской территории значительно ниже показателей, характеризующих экологическое равновесие на территории района. Плотность населения большого города намного превышает демографическую емкость его территории.

Антропогенную нагрузку, создаваемую городом, компенсирует природная среда пригородов и прилегающих к нему территорий. Приблизить городскую экосистему к состоянию экологического равновесия можно, увеличивая площади естественных ландшафтов и озелененных территорий города, а также снижая антропогенные нагрузки. Для этого используется комплекс природоохранных мероприятий по снижению негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Город – это несаморегулирующаяся экосистема. Поэтому общество должно регулировать качество городской среды и воздействие антропогенных нагрузок на нее.

С развитием урбанизации антропогенные нагрузки на окружающую среду возрастают: повышается плотность населения, разрастаются территории городов и агломераций, возрастает плотность застройки городских территорий и насыщенность их инженерной инфраструктурой, увеличиваются объемы промышленного производства, растет уровень автомобилизации. Все это ведет к обострению экологических проблем городской среды.

Городские (урбанизированные) территории настолько специфичны, что их можно рассматривать как своего рода аномальные зоны. Важнейшими специфическими свойствами таких территорий являются:

- город – это биогеохимическая провинция, для которой характерен аккумуляционный тип потока вещества;

- атмосфера городов характеризуется пониженной прозрачностью, повышенной запыленностью и наличием значительного количества загрязняющих веществ, в связи с этим города являются мощными источниками физического и химического загрязнения атмосферы, гидро- и литосферы прилегающих территорий;

- повышенная запыленность атмосферы в городе ведет к увеличению ядер конденсации влаги. Этот факт и то, что в связи с высотой и застройкой селитебных территорий происходит замедление воздушных потоков над городом, определяет причину повышенной облачности, а также количество дней с туманами и атмосферными осадками;

- в воздухе городов содержится значительно большее количество микроорганизмов, а самоочищающая способность его существенно ниже, чем в пригородной зоне;

- для территории города характерно повышенное прогревание воздуха, города являются «островами тепла». В средних широтах годовая температура городской среды на 1–4 °С выше, чем в пригородной зоне, а в отдельные периоды (например, при значительном контрасте суточных температур и безветренной погоде, в ночные часы) здесь может быть теплее на 6–8 °С. Поэтому города являются источниками теплового загрязнения окружающей среды;

- городские реки и водоемы подвержены сверхвысоким антропогенным нагрузкам, в то же время они характеризуются крайне низкой способностью к самоочищению;

- города характеризуются высокими показателями потребления чистой питьевой воды и возврата крайне загрязненных

хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, в большей части не подлежащих очистке. Города истощают подземные горизонты пресных вод, так как водопотребление во много раз превосходит скорость восстановления запасов подземных пресных вод. В связи с этим под городами и в радиусе их воздействия образуются аномальные понижения уровней подземных вод (депресссионные воронки), которые вызывают провалы и просадки грунтов с обрушением зданий и сооружений. Уровни первого водоносного горизонта, который обычно не используется для целей водоснабжения города, повышаются из-за многочисленных протечек из водоподводящих и водоотводящих сетей, а также из-за нарушения циркуляции стока в процессе городского строительства подземных объектов, прокладки инженерных коммуникаций.

Таким образом, урбозкосистемы являются неустойчивыми природно-антропогенными системами, состоящими из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем, полностью зависящими от функционирования человеческой техноцивилизации и негативно влияющими на окружающую среду в радиусе воздействия.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Сравните эволюцию понятия «биосфера» в историческом контексте.
2. Какова структура биосферы?
3. Что такое «живое вещество» и каковы его функции?
4. Дайте характеристику основным видам круговорота веществ в биосфере: углерода, азота, воды и фосфора.
5. Как происходит движение энергии в биосфере?
6. Каково значение антропогенных факторов для эволюции современной биосферы?
7. Как классифицируют антропогенные факторы?
8. Перечислите основные черты агроэкосистемы и урбозкосистемы.

## ГЛАВА 4

# ТЕХНОСФЕРА И НООСФЕРА

---

### 4.1. Техносфера и техновещество

Исторически сложившаяся биосфера с момента появления человека как *Homo sapiens* стала все сильнее подвергаться негативному влиянию его хозяйственной деятельности. С целью обеспечения своему виду максимального выживания и распространения человек был вынужден пойти по пути техногенного развития, который давал ему неоспоримые преимущества перед любым другим видом живых организмов, не наделенных такой высокой степенью организации нервной системы и, прежде всего, головного мозга. Особенно жесткому воздействию со стороны человеческой деятельности природные комплексы стали подвергаться в последние 200 лет, причем степень воздействия на них возрастает с каждым десятилетием.

**Техносфера** – область технической деятельности человека. Ее становление связано с эволюцией живого вещества, появлением человека и орудий труда, с научно-техническим и социальным прогрессом. Идет активная перестройка природных условий биосферы, осуществляемая и частично регулируемая человеком. Значительно преобразованы естественные ландшафты, а реликтовые сохраняются преимущественно в заповедниках. Созданы ландшафты техногенные: городской, промышленный, сельскохозяйственный. Выведены новые техногенные породы животных, сорта растений. Сотни биологических видов уничтожены или находятся на грани вымирания. В атмосфере повышается содержание техногенных газов, аэрозолей, пыли. Изменяются химический и биологический состав, режимы поверхностных и подземных вод. Каналами, водохранилищами, дамбами, котлованами преобразуется гидрографическая сеть планеты. Создаются техногенные формы рельефа: курганы, насыпи, выемки, терриконы и пр. Перераспределяются массы пород верхней части земной коры в процессе добычи полезных ископаемых, утилизации отходов. В отдельных районах техногенное перераспределение минеральных и водных масс нарушает устойчивость земной коры, учащая и усиливая землетрясения.



В функционирующей в настоящее время техносфере созданы искусственные минералы, горные породы, химические элементы. Она излучает в космос поток коротких радиоволн, в миллионы раз превышающий естественный. Космические аппараты достигли многих планет. Человек ступил на Луну. Если в прежние эпохи техносфера являлась частью биосферы, существовала в ней в виде отдельных очагов, то теперь уже область жизни входит в техносферу и преобразуется преимущественно техновеществом и в соответствии с его особенностями.

Структура техносферы достаточно сложна, так как включает техногенное вещество, технические системы, живое вещество, верхнюю часть земной коры, атмосферу, гидросферу. Более того, с началом эры космических полетов техносфера вышла далеко за пределы биосферы и охватывает уже околоземный космос.

Ресурсами техносферы являются вся совокупность вещества геосферы, в том числе и живое вещество биосферы.

Техносфера может рассматриваться как некоторая совокупность актов трудовой деятельности человека, в рамках которых происходит развитие всех реальных процессов, протекающих в биосфере. Техносферу иначе можно определить как планетарное пространство, находящееся под воздействием инструментальной и технической производственной деятельности людей и занятое продуктами этой деятельности.

Особенностью техносферы является то, что область жизни в ней постоянно подвергается разнообразным и порой чрезвычайным по мощности залповым воздействиям. В начале эволюции техносферы эти воздействия были направлены практически полностью на живое вещество с целью максимально возможного обеспечения человека пищевыми ресурсами, т.е. человек как бы навязывал отдельным видам особый техногенный ритм жизнедеятельности. В результате многие виды животных и растений попросту исчезли, выпали из продолжающейся эволюции биосферы. С момента перехода к искусственному воспроизведению пищевых ресурсов (скотоводству и земледелию) человек начал вовлекать в сферу своих экономических интересов другие природные ресурсы (полезные ископаемые, воду и пр.). С каждым десятилетием этот процесс все ускоряется, в связи с чем ускоряется и значительно изменяется интенсивность природных процессов и явлений. В результате этого биосфера не просто преобразовалась, она изменила

свою пространственно-временную структуру и энергетическую сущность, превратившись в область активной технической деятельности, или в техносферу (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Рост техносферы в XX в. (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 2001)

Показатель	Начало века	Конец века
Валовый мировой продукт, млрд дол/год	60	25 000
Энергетическая мощность техносферы, ТВт	1	14
Численность населения, млрд чел.	1,6	6,0
Потребление пресной воды, км <sup>3</sup> /год	360	5 000
Потребление первичной продукции биоты, %	1	12
Площадь лесов, млн км <sup>2</sup>	57,5	49,0
Рост площади пустынь, млн км <sup>2</sup>	–	1,7
Сокращение числа биологических видов, %	–	20
Риск техногенных поражений людей, %	0,5	2,5

Техносфера функционирует по определенным законам. К наиболее общим относятся уравнения баланса массы, законы сохранения центра масс, количества движения, момента количества движения, энергии и другие законы, справедливые при определенных условиях для любых материальных тел и технологических процессов, независимо от их структуры, состояния и химического состава.

Мир техники, встраиваемый в биосферу, целенаправленно создававшийся человечеством, стал проявлять себя как феномен, подчиняющийся объективным, т.е. не зависящим от воли людей, законам. Цивилизация, ставящая определенные практические цели и достигающая их за счет создания искусственного мира техники, не может предвидеть всех отдаленных последствий.

Техносфера характеризуется, прежде всего, появлением нового, не свойственного биосфере элемента, – *техновещества*. На суше техновещество соотносится с биовеществом следующим образом:

Биовещество, т/год	Техновещество, т/год
Биомасса – $10^{12}$ Биопродукция – $10^{11}$	Техномасса – $10^{13}$ – $10^{14}$ Технопродукция – $10^{11}$ – $10^{12}$

Техновещество обладает огромной геологической активностью и очень быстро изменяет облик планеты. Оно расходует потенциальную энергию ныне существующей биосферы

ры примерно в 10 раз быстрее, чем она может быть аккумулирована всем современным живым веществом. Поэтому разрушительная функция техновещества намного превосходит все его созидательные качества.

По аналогии с живым веществом, являющимся основой биосферы, можно говорить о техновеществе как совокупности всех существующих технических устройств и систем, которые можно рассматривать как *техноценозы*.

В состав техновещества включают следующие технические устройства:

- добывающие полезные ископаемые и вырабатывающие энергию подобно зеленым растениям в биосфере;
- перерабатывающие сырье и производящие средства производства;
- производящие средства потребления;
- передачи, использования и хранения средств информации;
- по переработке и утилизации отходов, включенные в непрерывный цикл безотходной технологии;
- автономные многофункциональные системы (роботы, автоматические межпланетные станции и др.).

Анализ структуры техновещества позволяет сделать вывод о том, что оно все больше воспроизводит аналогичную организацию естественных природных живых систем: продуценты – консументы нескольких порядков – редуценты.

В табл. 4.2 приведены данные по количественному сравнению биосферы и техносферы по разным источникам.

Таблица 4.2. Количественное сопоставление биосферы и техносферы

Сравниваемые показатели	Биосфера	Техносфера
1	2	3
Средообразующее число биологических видов	$10^7$	1
Число контролируемых видов	$10^7$	$10^4$
Масса сферы, Гт	$2,5 \cdot 10^4$	$10^4$
В том числе:		
активное вещество, Гт	$4,9 \cdot 10^3$	15
неактивное, произведенное вещество, Гт	$2,0 \cdot 10^4$	$10^4$
Кратность обновления активного вещества, год	0,1	0,1
Годовая нетто-продукция, Гт	550	1,5
Годовой расход органического вещества, Гт	170	24
Годовой расход энергии, ЭДж	8200	450
Годовой расход воды, км <sup>3</sup>	$3 \cdot 10^4$	5000
Степень замкнутости круговорота веществ, %	99,9	<10

Окончание табл. 4.2

1	2	3
Запас генетической информации, Гбит	$10^6$	7
Запас сигнальной информации, Гбит	–	8
Скорость переработки информации, бит/с	$10^{36}$	$10^{16}$
Информационная скорость эволюции, бит/с	0,1	$10^7$

Примечание. Гт – гигагонна ( $1 \text{ Гт} = 10^9 \text{ т}$ ); ЭДж – эксаджоуль ( $1 \text{ ЭДж} = 10^{15} \text{ Дж}$ ).

Появление техноценозов и организация их по биосферному принципу еще больше подчеркивают протекающие в настоящее время процессы замены эволюционно сложившейся биосферы – единственно возможной для существования человека как биологического вида среды – на искусственно созданную им же в процессе своего эволюционного развития техносферу – окружающую среду, качественно и количественно отличающуюся от морфофизиологических потребностей человека.

## 4.2. Эволюция техносферы и техносферогенез

Техносфера возникла в процессе нескольких тысячелетий *техногенеза*, который выступает как материальное воплощение истории человечества. Главными слагаемыми техногенеза являются технический прогресс и экономический рост.

Начало техногенезу положил первый костер, зажженный человеком, и удар камня по камню для получения более острого края. Применение огня расширило ареал человека, дополнило собирательство и охоту новыми приемами добывания, приготовления и запасаения пищи, зародило возможность будущих термических технологий. Уже в неолите возникли условия для развития ремесел и профессионального разделения труда. Но человек еще не научился трансформировать энергию огня. Это была *эпоха мускульной энергетики*, когда в распоряжении человека были только собственная сила, а затем и сила прирученных животных, а также простые механизмы – преобразователи мускульной силы.

Начиная с VIII–XI вв. к ним добавляются изобретения, использующие силы воды и ветра. Наступила *эпоха механоэнергетики на возобновляемых ресурсах*. Технические возможности человека расширились и одновременно усилилось его давление на природу.

В эпоху Возрождения (XIV–XVII вв.) рост населения, развитие ремесел и торговли, городов и дорог, географические открытия и завоевания, строительство, судостроение, военное дело ускорили освоение новых земель, сведение лесов и дали мощный толчок развитию рудного дела и металлургии, а затем и машин на механическом приводе.

В XVIII в. в преддверии промышленной революции, когда уже стал ощущаться дефицит древесного топлива и требовалось повышение эффективности земледелия, одноступенчатые механические преобразователи природных сил перестали удовлетворять человека. Он постоянно нуждался в концентрации энергии, в повышении ее качества, в увеличении силы и мощности, прилагаемой к объектам деятельности. Появились первые преобразователи тепловой энергии. Наступила *эпоха химической теплоэнергетики на невозобновляемых энергоресурсах*. Как только оказалось, что созданное и контролируемое человеком изделие – машина, состоящая из топки, котла и парового двигателя, может развивать мощность многих лошадиных сил, направление общественного прогресса и дальнейших взаимоотношений человека с природой было однозначно предreshено. Недаром эпитафия на могиле Джеймса Уатта содержит слова: «...увеличил власть человека над природой...». С тех пор эта власть проявляется главным образом в потреблении природных ресурсов и загрязнении среды.

В XX в. техногенез приобрел глобальный характер, способствуя повсеместному преобразованию биосферы в техносферу.

Наиболее характерные черты глобального техногенеза в XX в.:

- за 100 лет мировое потребление энергии увеличилось в 14 раз. Суммарное потребление первичных энергоресурсов превысило 380 млрд т условного топлива, т.е. более  $10^{22}$  Дж;

- в структуре топливного баланса большинства стран мира произошел переход от преимущественного использования угля и дров к преобладающему использованию углеводородного сырья – нефти и газа (до 65%), а также к заметному вкладу гидро- и ядерной энергетики (суммарно до 9%). С 1950 по 1995 г. в 2 раза возросло преобразование топлива в электроэнергию. Среднее душевое потребление электроэнергии достигло 2400 кВт·ч/год;

- многократно увеличилась добыча и переработка минеральных ресурсов – руд и нерудных материалов. Производство черных металлов возросло за столетие в 8 раз. Еще интенсив-

нее был рост производства цветных металлов, в основном за счет быстрого наращивания выплавки алюминия. С 1940 г. началась и стремительно выросла промышленная добыча урана. Производство цемента за 90 лет XX в. выросло практически с нуля до 1 млрд т/год;

- значительно возрос объем и изменилась структура машиностроения, в котором весомую долю составила военная техника. Появились и получили быстрое развитие такие отрасли, как производство средств связи, приборостроение, радиотехника, электроника, вычислительная техника и др. По сравнению с началом века тысячекратно увеличилось количество выпускаемых самодвижущихся транспортных средств;

- значительно интенсифицировалась химизация всех отраслей хозяйственной деятельности. За последние 50 лет выпущено более 6 млрд т минеральных удобрений, во много раз выросло производство пластмасс, синтетических волокон, моющих и иных синтетических средств, в том числе эффективных взрывчатых и отравляющих веществ, пестицидов, лекарственных препаратов;

- развитие военной промышленности практически устранило географические ограничения в применении военной техники. Космос, атмосфера, вода и подводное пространство, земная поверхность от северного до южного полюса стали доступными для ведения боевых действий. Появились принципиально новые виды оружия массового поражения на качественно иных физических принципах, которые создают непосредственную угрозу выживанию человека в термоядерную эпоху;

- появился новый, не свойственный биосфере элемент – техновещество.

В табл. 4.3 приведены основные этапы техногенеза.

Таблица 4.3. Этапы техногенеза (по С.А. Рафикову, 1991)

Наименование этапа	Характеристика производительных сил	Ареал
1	2	3
Антропогенез	Охота, собирательство и т.д.	–
Точечный техногенез	Возникновение земледелия, первых поселений человека	Точечные участки территории

Окончание табл. 4.3

1	2	3
Локальный техногенез	Возникновение многопольных систем земледелия, использование тягловой силы скота, зарождение родов	Ограниченные участки территории и акватории в ряде мест земного шара
Микрорегиональный техногенез	Промышленная революция XVII–XVIII вв., использование силы пара, развитие добывающей и обрабатывающей промышленности	Формирование промышленных центров, связанных между собой зарождающимися транспортными системами
Мезорегиональный техногенез	Дальнейшее развитие добывающих отраслей, машиностроения и металлообработки, формирование большой химии, гидроэнергетики, завершение освоения земель, пригодных для ведения сельского хозяйства, интенсивное развитие железнодорожного и воздушного транспорта	Образование обширных районов с полностью преобразованной природной средой, наблюдаются последствия воздействия на акваторию и аэроторию
Макрорегиональный техногенез	Дальнейшее промышленное развитие, формирование ядерной энергетики, интенсивное развитие реактивного воздушного транспорта	Смыкание районов с преобразованной природной средой, образование единой техногенной среды, начало влияния на климатические процессы
Глобальный техногенез	Количественное и качественное расширение процессов хозяйственной деятельности, охватывающее всю планету	Геотериальное смыкание географической среды и географической оболочки, влияние на климат

Техногенез сопровождается неизбежной миграцией вещества и энергии. Техногенная миграция является наиболее сложным видом миграции химических элементов в географической оболочке. Первые работы по изучению этого вида миграции связаны с именами В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана.

В 20-е гг. XX в. А.Е. Ферсман ввел понятие *кларка* и выявил зависимость интенсивности использования элементов от их положения в Периодической системе Менделеева, т.е. зависимость интенсивности использования элементов от размеров атомов, ионов и их кларков.

Кларк – числовая оценка среднего содержания какого-либо химического элемента в земной коре, гидросфере, атмосфере, Земле в целом, различных типах горных пород, космических объектах и др. Кларк может быть выражен в единицах массы (% , г/т и др.) либо в атомных процентах.

В своем учении о биосфере Вернадский выделил в географической оболочке биосферы новую систему – *ноосферу*, основным признаком которой является техногенная миграция вещества и энергии (техногенез). В 1944 г. он писал: «Ноосфера есть новое геохимическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой...». Изучение геохимии ноосферы и техногенеза рассматривалось Вернадским как теоретическая основа рационального использования природных ресурсов, охраны природы и борьбы с ухудшением качества окружающей среды.

Сопоставимость деятельности человека с геологической стала отчетливо видна с 60-х гг. XX в. Человечество ежегодно добывает около 100 млрд т минерального сырья и каустобиолитов. Горные и строительные работы перемещают не менее 1 км<sup>3</sup> горных пород, что сопоставимо с объемом естественного стока рек. С продукцией сельского хозяйства и промышленностью происходит миграция элементов на огромные расстояния. Например, торговля зерном приводит к перемещению миллионов тонн калия, сотен тысяч тонн азота и фосфора.

Масштабы многих процессов техногенеза превосходят природные: ежегодно добывается Pb почти в 70 раз, Cr – в 35, Cu – в 30, P – в 20, Mn и Fe – в 10, Zn – в 5, Al – в 3 раза больше, чем их выносятся с речным стоком. Из недр земли добывается больше химических элементов, чем включено в биологический круговорот. В результате техногенного извлечения из горных пород дополнительных количеств химических элементов, редко встречающихся в географической оболочке, происходит обогащение ими биосферы. С геохимических позиций этот процесс является процессом становления техносферы и резервом ее ресурсов.



Геохимический аспект техногенеза включает:

- извлечение химических элементов из природной среды (добыча полезных ископаемых), их концентрацию (обогащение руды на горно-обогатительных комбинатах);

- перегруппировку химических элементов, изменение химического состава соединений, в которые эти элементы входят, а также создание новых химических веществ (выплавка сплавов черных и цветных металлов, создание полимерных материалов и других ксенобиотиков);

- рассеяние вовлеченных в техногенез элементов в окружающей среде. Рассеивание химических элементов может быть планомерным процессом (внесение химических удобрений, орошение полей сточными водами, компостами и т.д.) и побочным непредусмотренным процессом (выбросы в атмосферу продуктов сгорания, загрязнение почв и водоемов промышленными стоками, аварийные выбросы и др.).

Геохимический аспект техногенеза, прежде всего, сказывается на нарушении естественного круговорота вещества и распределении потоков энергии в биосфере.

Рассмотрим современный техногенный круговорот веществ.

За год из 120 Гт ископаемых материалов и биомассы, мобилизуемых мировой экономикой, только 9 Гт (7,5%) преобразуется в процессе производства в материальную продукцию. Более 80% этого количества возвращается в основные фонды производства. Только 1,6 Гт составляют личное потребление людей, причем 2/3 этой массы относится к нетто-потреблению продуктов питания. Из окружающей среды все люди потребляют 3,6 Гт питьевой воды и 1,2 Гт кислорода. В атмосферу возвращается 1,6 Гт выдыхаемых углекислого газа и паров воды; при этом выделяется 18 ЭДж теплоты. В водоемы и на поверхность Земли поступает 4 Гт жидких и 0,8 Гт твердых отходов.

Материальный нетто-баланс человечества как биологического вида (без современного общественного производства) необычайно велик и во много раз превосходит материальный бюджет любого другого вида животных, но в целом почти вписывается в глобальный биотический круговорот и создает лишь часть современных экологических проблем. Надо помнить также, что человек контролирует большую массу расте-

ний и животных многих видов, которые вне человеческого хозяйства либо вообще не могли бы существовать, либо вносили бы незначительный вклад в экосферный обмен веществ. Наиболее серьезные проблемы связаны с безвозвратным потреблением биоресурсов и полезных ископаемых, энергетикой и промышленным производством. На рис. 4.1 представлена схема глобального антропогенного материального баланса.

Техногенный материальный круговорот принципиально отличается от биотического круговорота, прежде всего высокой степенью разомкнутости. Поэтому его правильнее было бы называть не круговоротом, а *ресурсным циклом*. Можно сказать, что такой колоссальный механизм создан для обеспечения нетто-потребления людей незначительной долей веществ и материалов, участвующих в цикле. По существу, речь идет всего лишь о 400 млн т в год товаров сверх потребления продуктов питания, воды и воздуха, или о 63 кг в год на одного жителя Земли. Коэффициент полезного действия всей этой

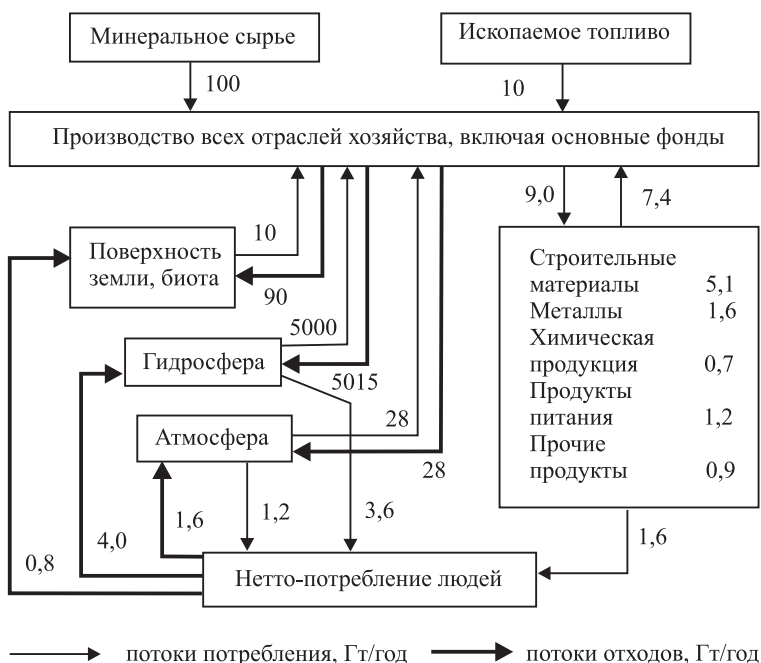


Рис. 4.1. Схема глобального антропогенного материального баланса (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 2001)

грандиозной системы чрезвычайно низок – 0,003. Другими словами, материальная эффективность современной индустриальной цивилизации близка к нулю.

Ежегодное изъятие около 10 Гт сухого вещества биомассы в виде сельхозпродукции, древесины и морепродуктов составляет почти 5% продукции фотосинтеза на суше. Но кроме этого за счет антропогенного уменьшения биомассы и продуктивности естественных экосистем, замещения их агроценозами, вырубки лесов, опустынивания, техногенной деградации и прочего человек косвенно переводит в антропогенный канал еще 7–10% первичной продукции экосистем суши, в целом снижая продуктивность земной биосферы примерно на 10–12%. Именно это расценивается как основное вмешательство человека в природные процессы.

Общая масса отходов современного человеческого хозяйства и продуктов техносферы (за исключением простых газообразных веществ, участвующих в обмене кислорода, азота и паров воды) составляет не менее 140 Гт в год. Это количество распределяется между водоемами, воздухом и поверхностью земли приблизительно в соотношении 1 : 2 : 6.

Сжигание 10 Гт ископаемого топлива, сжигание и биологическое окисление (в том числе в организме людей) более 6 Гт изымаемой растительной биомассы и другие производственные окислительные процессы отнесены в балансе к массообмену в атмосфере. Они сопряжены с потреблением 30–31 Гт кислорода и возвращением в атмосферу 35–37 Гт углекислого газа и других оксидов, а также паров воды (не считая техногенного испарения свободной воды). Вместе с ними в воздух попадают многочисленные загрязнители атмосферы, выделяющиеся при производственных процессах и работе транспорта.

Все отрасли техносферы потребляют огромное количество воды – около 5000 км<sup>3</sup>/год. Оно соответствует почти 1/5 объема влаги, вводимой в планетарный круговорот транспирацией всех растений суши. Скорость оборота воды в техносфере во много раз больше, чем в биосфере.

С учетом потребляемого воздуха и добываемого природного газа техносферный газообмен составляет более 150 тыс. км<sup>3</sup>/год, что превышает 1/4 биосферного газообмена. Почти такое же соотношение существует между выделением техногенной теплоты и годовым протоком энергии фотосинтеза. Таким образом, к концу XX в. человечество на 20–25% увеличило обмен веществ и энергии на планете.

Наиболее серьезно вмешательство техногенеза в биосферный обмен органических веществ. В соответствии с *правилом одного процента* для консументов допустимо изъятие не более 1% ежегодной продукции биосферы. Таким образом, человек, ставший самым мощным в природе конечным консументом, во много раз, почти на порядок, превысил естественный норматив.

Важным отличием техногенного круговорота вещества от биотического является то, что он существенно разомкнут в количественном и качественном отношении. Своей разомкнутостью техногенный круговорот нарушает необходимую высокую степень замкнутости биотического круговорота вещества и движения энергии, которая выработана в течение длительной эволюции органического мира, и является важнейшим условием существования биосферы. Основная причина современного глобального экологического кризиса на планете – это нарушение биосферного равновесия.

О степени разомкнутости техногенного круговорота также можно судить по его вмешательству в глобальный круговорот углерода, механизм которого был рассмотрен ранее. Непосредственная техногенная эмиссия  $\text{CO}_2$  в атмосферу составляет 30 Гт/год. К этому количеству добавляется еще по меньшей мере 3,5 Гт  $\text{CO}_2$ , выделяющегося в результате изъятия фитомассы и эрозии почвы. Кроме этого, судя по массе кислот, образующихся из техногенных оксидов серы и азота и выпадающих на землю в виде кислотных дождей, вытесняемый ими  $\text{CO}_2$  из карбонатов и органики почвы дает еще минимум 1,5 Гт углерода. Таким образом, в результате непосредственного и косвенного вмешательства в природный круговорот углерода общее количество  $\text{CO}_2$ , ежегодно выбрасываемого в атмосферу, достигло 35 Гт и на 10% увеличило планетарный обмен углерода (Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 2001).

Казалось бы, при очень высокой замкнутости биосферного круговорота углерода и огромной буферной емкости биосферы и океана по связыванию атмосферного избытка  $\text{CO}_2$  это увеличение не должно приводить к нарушению равновесия. Более того, можно было бы ожидать улучшения углеродного питания растений и повышения их продуктивности. Но в действительности содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере на протяжении последних десятилетий неуклонно увеличивается. Следовательно, буферные системы биосферы и океана не справляются с регулированием равновесия потоков  $\text{CO}_2$ . Это можно объяс-

нить снижением ассимиляционного потенциала земной флоры (в основном из-за быстрого сокращения площади лесов) и значительным загрязнением суши и поверхности океана.

Нарастание концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере вместе с другими техногенными газами также усиливает *парниковый эффект* (см. далее – гл. 6).

Специфическими показателями техногенеза являются:

- технофильность (Т);
- биофильность (Б);
- деструктивная активность элемента (ДА);
- техногенное геохимическое давление (ТГД);
- модуль техногенного геохимического давления.

*Технофильность* (Т) – отношение массы ежегодной добычи или производства элемента (в тоннах) к ее кларку в литосфере. Понятие «технофильность» используется для характеристики интенсивности добычи химических элементов и их потребности в производстве.

Объемы добычи разных элементов существенно различаются, например добыча углерода исчисляется миллиардами тонн, а редкоземельных металлов – десятками тонн. Эти различия связаны со свойствами элементов (ценностью для хозяйства), технологией их получения и способностью к концентрации в земной коре, а также кларком в литосфере. Например, существенные различия в распространенности железа и золота (их кларки соответственно равны 4,65 и  $4,3 \cdot 10^{-7}\%$ ) определяют различия в объемах добычи. Исключительная роль железа в развитии человеческой цивилизации связана с его большим кларком, повсеместным распространением и сравнительной простотой обработки.

Технофильность является очень динамичным понятием, которое существенно изменялось от эпохи к эпохе. На заре человеческой цивилизации использовалось лишь 18 элементов, в XVIII в. – 28, в XIX в. – 62, в 1915 г. – 71 элемент. В настоящее время в техногенез вовлечены все известные на земле элементы, а также неизвестные в естественных условиях – нептуний, плутоний и другие трансурановые элементы и радиоактивные изотопы.

В начале XX в. технофильность ряда элементов, рассчитанная А.Е. Ферсманом, менялась почти в 200 раз. Сейчас она меняется значительно медленнее. Растет технофильность углерода (увеличение добычи нефти и газа), фосфора, магния (увеличение производства фосфорных удобрений, доломита,

магнетита). Развитие новых отраслей (электроники, космической техники и теплоэнергетики) привели к увеличению в 5–10 раз технофильности таких редких элементов, как Th, In, Hf, Nb, Zr, Be, Ga. Объемы добычи тех или иных элементов определяются такими параметрами, как экономические потребности и технический прогресс. Но все же регулирующей основой является кларк. И чем дальше, тем теснее будет зависимость добычи от величины кларка, так как богатые месторождения будут отработаны и человечество перейдет к эксплуатации гранитов, базальтов и других горных пород, в которых содержание элементов близко к кларковому. В этом заключается одно из коренных отличий техносферы от биосферы: техногенез ведет к уменьшению геохимической контрастности техносферы.

Технофильность элемента рассчитывают для отдельной страны или группы стран (региональная технофильность), всего мира (глобальная технофильность). Значения технофильности позволяют определять изменения элементарного состава ландшафтов, накопление в них технофильных элементов. Известно, что культурные ландшафты более «ожелезнены» по сравнению с природными. В них больше относительная роль меди по сравнению с цинком, никеля по сравнению с кобальтом. Самую высокую глобальную технофильность имеют хлор, углерод, высока она у свинца, цинка, меди, хрома, молибдена, ртути.

*Биофильность* (Б) – это отношение среднего содержания элемента в живом веществе планеты к кларку этого элемента. Повышенное содержание элемента с большой биофильностью может иметь положительное значение для организмов, а содержание элементов с небольшой биофильностью вызывает нарушение нормального функционирования организмов. Как правило, чем больше технофильность и чем меньше биофильность элемента, тем он на данном этапе развития технической деятельности опаснее для живых организмов, тем больше его деструкционная активность.

*Деструктивная активность* (ДА) – отношение технофильности к биофильности. Биофильность в данном случае – это кларк химического элемента в живом веществе. Деструктивная активность характеризует степень опасности элемента для живых организмов. Наибольшее значение этого показателя у ртути ( $10^5$ ), кадмия ( $10^3$ ), свинца, сурьмы, мышьяка, урана ( $10^2$ ).

Количество элемента, выводимое ежегодно из техногенного потока в природный, называют *техногенным геохимическим давлением* (ТГД), а отношение этого показателя к единице площади – *модулем техногенного геохимического давления* (т/км<sup>2</sup>). Наиболее велики модули техногенного давления у натрия, хлора, кальция, железа (в пределах 0,5–1,0), наименьшие – у лития, серебра, вольфрама, золота, ртути и таллия (10<sup>-5</sup>–10<sup>-7</sup>).

Используя систему показателей, характеризующую техногенные системы, можно установить наличие в том или ином регионе *техногенных геохимических аномалий*. Размеры аномалий могут быть различны.

*Глобальные аномалии* охватывают весь земной шар. К ним относят повышенное содержание углекислого газа в атмосфере, явившееся результатом сжигания топлива, накопление стронция-90 после ядерных взрывов.

*Региональные аномалии* распространяются на материки, страны, зоны, области, провинции. К этим аномалиям приводят такие антропогенные явления, как применение минеральных удобрений, ядохимикатов и др.

*Локальные аномалии* связаны с конкретным производством, промышленным предприятием, рудником, городом. Это, например, повышенное содержание металлов в почвах и водах вокруг металлургических предприятий. Их радиус ограничивается несколькими десятками километров.

Техногенные аномалии делятся на *литохимические* (отмечаемые в почвах, породах, пластах и пр.), *гидрохимические* (в любых водных отъёктах), *атмогеохимические* (в атмосфере), *биогеохимические* (в живых организмах).

Совокупность техногенных аномалий от локального источника называется *техногенным ореолом и потоком рассеяния*. Обычно техногенный ореол включает все виды аномалий.

Техногенная аномалия может быть результатом уменьшения интенсивности техногенной миграции. Такой участок носит название *техногенного геохимического барьера*. При неизбежном формировании техносферы в процессе техногенеза техногенные барьеры могут быть полезными, вредными и нейтральными. Например, вторичное засоление – результат вредного техногенного барьера. А такое мероприятие по повышению плодородия почв, как известкование, приводит к возникновению полезного техногенного барьера и накоплению элементов питания.

Однако с точки зрения равновесного биогеохимического функционирования биосферы все проявления техногенеза неизбежно приведут к вольному или невольному нарушению этого равновесия.

В современной интерпретации понятие техногенеза трактуется двояко:

- антропоцентристски, т.е. с точки зрения позиций и интересов человека;
- глобально-исторически как определенный, качественно своеобразный этап планетарной эволюции.

С одной стороны, создавая различные виды техники и технологий, человек упрочивает свое главенство (лидерство) среди планетарных систем, выступая мощной преобразующей силой. Нет более могущественной современной планетарной системы, чем антросфера. А многообразные технические системы позволяют удовлетворять самые различные потребности человека: биологические, интеллектуальные, социальные, в том числе потребность познания и связанный с нею ноогенез. Таким образом, направленное развитие техносферы целиком отвечает целям и задачам человека, которым и осуществляется.

С другой стороны, возникновение технических систем различных видов и направленности – это закономерный естественно-эволюционный процесс дифференциации антросферы, в ходе чего появляются новые элементы искусственного происхождения, ранее для нее совершенно не свойственные. Эти вновь возникающие элементы для своего совершенствования и расширения пространственного ареала используют не только различные виды энергии (электрическую, ядерную, солнечную и др.), но и, что более важно, человеческую интеллектуальную энергию.

Анализ основных этапов развития техногенеза показывает, что в процессе становления техносферы как новой геосферы, основой которой выступает искусственная неорганическая материя, человек постепенно и неизбежно вытесняется из всех сфер своей жизнедеятельности: производства, обслуживания, контроля и управления за счет автоматизации и роботизации, а на современном этапе – сферы творчества. Интеллектуальные системы уже благополучно заменяют человека в таких областях, как проектирование, анализ экономической деятельности, создание музыкальных, графических, видео- и других произведений. Причем уже сейчас в экономически развитых



странах, где основой управления жизнедеятельностью является полная компьютеризация, человек стал целиком зависеть от таких систем.

Создание искусственного разума (искусственного интеллекта) уже не предмет научной фантастики, а объективная реальность. И если на данном этапе техногенеза эти устройства весьма примитивны и подчиняются полному контролю со стороны человека, то с появлением в них функций самосовершенствования, самопрограммирования и самовоспроизводства человек будет исключен из сферы интересов и потребностей таких систем, как объект контроля их функционирования.

Сегодня техносферу можно представить как определенную масштабную систему, имеющую самоорганизующийся характер, основным энергетическим источником эволюции которой выступает интеллектуальная энергия человечества. Поэтому роль планетарных информационных круговоротов возрастает не только в силу социального прогресса, обусловленного саморазвитием человеческой цивилизации, но со временем во все большей степени из-за эволюции техносферы. Информационные потоки выходят здесь на первый план, поскольку это связано с появлением и широким распространением интеллектуальной ветви техногенеза – ноогенеза, которая должна, по классическим представлениям, превратиться в ведущую силу и привести к образованию новой планетарной сущности – ноосферы.

Таким образом, на современном этапе техногенеза происходит историческое смыкание процессов антропосоциогенеза, техногенеза и ноогенеза.

### 4.3. Ноосфера и ноосферогенез

Глобальный характер взаимоотношений человека со средой его обитания привел к появлению понятия **ноосферы**, классическая трактовка которого определяется как новый, современный, следующий после биогенеза этап эволюции органического мира, связанный с появлением человека, индустриального человеческого общества, или как сферу разума.

Понятие «ноосфера» было предложено профессором математики Сорбонны (Парижского университета) Э. Леруа в 1927 г., который трактовал ее как «мыслящую» оболочку, формирующуюся человеческим сознанием. Леруа подчеркивал, что пришел к этой идее совместно со своим другом – крупней-

шим геологом и палеонтологом-эволюционистом (одним из открывателей синантропа вблизи Пекина), католическим философом Пьером Тейяром де Шарденом. При этом Леруа и Тейяр де Шарден основывались на лекциях по геохимии, которые в 1922–1923 гг. читал в Сорбонне русский ученый Вернадский.

В основе теории ноосферы Леруа лежат представления Плотина (205–270 гг. н.э.), основателя *неоплатонизма*, о сверхсущем Едином и иерархическом строении бытия.

По Плотину, весь реальный и известный мир – это эманация Единого (непознаваемой Первосущности, отождествляемой с Благом в контексте существующего мира и человека в том числе) в Ум и мировую Душу, реализованные в Человеке и всем сущем, с последующей трансформацией последних снова в Единое. Согласно Плотину, сначала Единое выделяет из себя мировой Ум (нус), заключающий в себе мир идей и их реализаций (техносферу), затем Ум производит из себя мировую Душу, которая дробится на отдельные души и творит чувственный мир (ноосферу). Материя возникает как низшая ступень *эманации* – перехода от высшей онтологической ступени универсума (Единого) к низшим, менее совершенным. Достигнув определенной ступени развития, существа чувственного мира начинают осознавать собственную неполноту и стремиться к приобщению, а затем и слиянию с Единым. Человек у Плотина стремится выйти за пределы Души в сферу Разума, чтобы затем, через экстаз (духовно-эволюционное развитие), приобщиться к Единому.

В современных терминах и понятиях эти представления описывают процесс возникновения и становления ноосферы через биосферогенез как сферы эволюционно обоснованного развития материи.

Идеи Плотина были восприняты Леруа в бергсонском духе, основоположником которого был А. Бергсон (1859–1941) – последователь интуитивизма и философии жизни.

*Интуитивизм* – течение в философии, видящее в интуиции единственно достоверное средство познания.

*Философия жизни* – философское течение, исходящее из понятия жизни как некоей интуитивно постигаемой органичной целостности и творческой динамики бытия; как космической силы, создающей новые формы.

Влияние Бергсона на создание теории ноосферы заключалось главным образом в выдвинутом им положении о творческой эволюции (*Бергсон, А. Творческая эволюция. М., 1914 (перевод с франц. «L'évolution créatrice», 1907)*).

Тейяр де Шарден в своей работе «Феномен человека» обосновал, что человек – это не статический центр мира, а ось и вершина эволюции, т.е. подверг сомнению теорию эгоцентризма.

По поводу эволюции органического мира Тейяр де Шарден пишет: «Здесь снова выступает, но теперь в более определенной области и на новой ступени фундаментальное условие, которое уже характеризовало первородную материю – единство множества. Земля, вероятно, возникла случайно. Но, согласно одному из самых общих законов эволюции, этот случай, едва появившись, был немедленно использован, преобразован в нечто закономерно направляемое. Самим механизмом своего возникновения пленка, в которой сосредоточивается и углубляется внутреннее Земли, выступает перед нами в форме органического целого, где ни один элемент нельзя уже отделить от окружающих его других элементов. В сердце великого неделимого – универсума появилось новое неделимое. Поистине – *предбиосфера*»\*. Это весьма созвучно понятию «пленка жизни» Вернадского.

Необходимо и далее процитировать автора с целью раскрытия понимания дальнейшей эволюции представлений о ноосфере: «Было время, когда жизнь управляла лишь рабами или детьми. Для продвижения вперед ей достаточно было удовлетворять темные инстинкты. Поиски пищи. Забота о размножении. Наполовину скрытая борьба за то, чтобы выжить, удержаться на поверхности, даже за счет других. Автоматически и покорно, как равнодействующая огромной суммы использованных эгоизмов, поднималось целое.

Но с первым проблеском мысли на Земле жизнь породила силу, способную критиковать ее саму и судить о ней. ... мы начинаем открывать, что нечто развивается в мире через посредство нас, может быть, за наш счет.

...сознание уникально среди других сил универсума, оно – такая величина, которая не допускает, даже противоречит предположению, будто оно может достичь потолка или повернуть назад. Критические точки в пути – сколько угодно. Но остановка или возврат назад невозможны по той простой причине, что всякое возрастание внутреннего видения есть, по существу, зарождение нового видения, включающего в себя все другие и влекущего еще дальше.

---

\* Тейяр де Шарден, П. Феномен человека / перевод и примечания Н.А. Садовского. М., 1965.

Отсюда – то замечательное положение, что наш дух благодаря своей способности открывать впереди себя бесконечные горизонты может действовать далее, лишь имея надежду достичь какой-то стороной самого себя высшего совершенства, без которого он чувствовал бы себя искаженным, неудавшимся, то есть обманутым.

Чем больше человек будет становиться человеком, тем меньше он согласится на что-либо иное, кроме бесконечного и неистребимого движения к новому»\*.

Таким образом, понятие «ноосфера» базируется на исторически весьма отдаленных представлениях об организации существующего и непрерывно развивающегося мира живой природы с учетом феномена человека в нем.

*Ноосфера*, по Тейяру де Шардену (1930), – это коллективное сознание, которое будет контролировать направление будущей эволюции планеты и сольется с природой в идеальной точке Омега, подобно тому, как раньше образовывались такие целостности, как молекулы, клетки и организмы: «Мы непрерывно прослеживали последовательные стадии одного и того же великого процесса. Под геохимическими, геотектоническими, геобиологическими пульсациями всегда можно узнать один и тот же глубинный процесс – тот, который, материализовавшись в первых клетках, продолжается в созидании нервных систем. Геогенез переходит в биогенез, который в конечном счете не что иное, как психогенез... Психогенез привел нас к человеку. Теперь психогенез ступшевывается, он сменяется и поглощается более высокой функцией – вначале зарождением, затем последующим развитием духа – ноогенезом»\*\*.

Еще в 20-х гг. XX в. великий русский ученый и мыслитель Вернадский пришел к мысли, что изменение природы «силой культурного человечества» становится явлением геологического масштаба. Человек как часть биосферы своим трудом многократно усиливает планетарную функцию живого вещества, а она, в свою очередь, становится управляемой человеческим разумом. Этот процесс естественно и неизбежно приведет к постепенному преобразованию земной биосферы в «мыслящую оболочку», сферу разума – ноосферу.

---

\* *Тейяр де Шарден, П.* Феномен человека / перевод и примечания Н.А. Садовского.

\*\* Там же.

Развивая концепцию ноосферы вслед за Леруа и Тейяром де Шарденом, Вернадский рассмотрел, что на основе единства предшествующей стадии взаимодействия живой и косной материи на следующей стадии взаимодействия природы и человека может быть достигнута гармония, т.е. точно также как живое вещество и косная материя, объединенные цепью прямых и обратных связей, образуют единую систему – биосферу, так человечество и природная среда образуют единую систему – ноосферу.

Вернадский развил концепцию ноосферы как растущего глобального осознания усиливающегося вторжения человека в естественные биогеохимические циклы, ведущего, в свою очередь, ко все более взвешенному и целенаправленному контролю человека над глобальной системой.

*Ноосфера*, по Вернадскому, – это «такого рода состояние биосферы, в котором должны проявляться разум и направляемая им работа человека как новая небывалая на планете геологическая сила»\*.

Таким образом, *ноосфера* – это новое геологическое явление на планете, в котором крупнейшей геологической силой являются человек и его деятельность. Причем в основе изменения реальностей ноосферы лежит мысль, психическая энергия, которая преобразовывает мир. И направление этого преобразования, этого информационно-энергетического потока в ближайшие несколько десятилетий определит форму существования биосферы, если она ею останется.

Ноосфера в понимании Вернадского (1944) – это высший этап развития земной природы, результат совместной эволюции природы и общества, направляемой человеком, будущее биосферы, когда она, благодаря разумной деятельности и могуществу человека, приобретет новую функцию – функцию гармоничной стабилизации жизни на планете. Эпохе ноосферы будет предшествовать глубокая социально-экономическая реорганизация всего общества в целом, изменение его ценностной ориентации.

К сожалению, этим, в сущности, и исчерпывается все содержание идеи Вернадского о ноосфере. До настоящего времени не существует сколько-нибудь развернутого и последовательного научного описания процесса *ноосферогенеза* и мето-

---

\* Вернадский, В.И. Размышления натуралиста: в 2 кн. Кн. 2. Научная мысль как планетарное явление. М., 1977. С. 67.

дов его формирования, нет четких характеристик ноосферы, ее качественного и количественного описания. Поэтому существует множество произвольных трактовок ноосферы и ноосферогенеза. Ряд авторов (Л.Н. Гумилев и др.) трактуют ноосферу как «сферу разума, продуктом которой является техника в самом широком смысле, включая науку, искусство и литературу как кристаллизацию деятельности разума».

Многие авторы не относят ноосферу в будущее, а считают ее уже формирующейся. Процессы воздействия общества на природу, освоение новых территорий, расширение и увеличение объемов природопользования считают элементами ноосферогенеза.

Некоторые авторы предлагают заменить понятие «ноосфера» на «ноосистема», мотивируя это тем, что «с выходом человека в космос область взаимодействия человека с природной средой перестала ограничиваться сферой Земли, и ныне данное взаимодействие пролегает по маршрутам космических кораблей. Понятие «ноосистема», возможно, было бы в наше время более точным, чем понятие «ноосфера», поскольку последняя после выхода людей в космос уже не соответствует пространственной конфигурации воздействия человека на природу. Понятие «ноосистема» предпочтительнее и в плане научного анализа экологической проблемы, так как оно ориентирует на применение развиваемого во второй половине XX века системного подхода к изучению объективной реальности» (А.А. Горелов, 2008). Однако с этим утверждением трудно согласиться, так как Вернадский уже трактовал понятие «биосфера» с учетом космического фактора, а в русской науке весьма широко было представлено такое научное направление, как космизм.

*Русский космизм* – это уникальное космоэволюционное направление научно-философской мысли, широко распространенное в XX в. К русским космистам относятся такие крупнейшие ученые, инженеры, деятели культуры, писатели, поэты, философы, религиозные деятели, как Н.Ф. Федоров, А.В. Сухово-Кобылин, Н.А. Умов, К.Э. Циолковский, В.И. Вернадский, А.Л. Чижевский, А.К. Горский, Н.Г. Холодный, А.К. Манеев и др. В развитии идеи космизма участвовали также мыслители религиозного направления – В.С. Соловьев, П.А. Флоренский, С.Н. Булгаков, Н.А. Бердяев.

Основой русского космизма является идея активной эволюции, т.е. необходимость нового сознательного этапа развития мира, когда человечество направляет его в сторону, определяе-

мую разумом и нравственным чувством. Человек для русских космистов – существо, находящееся в процессе роста, несовершенное, но сознательно-творческое, призванное преобразовать не только внешний мир, но и свою собственную природу. Речь идет о расширении духовных сил, управлении материей, одухотворении мира и человека. Космисты сумели соединить заботу о Земле, биосфере, космосе с конкретными запросами конкретного человека.

Еще одной составляющей русского космизма является гуманизм, основанный на глубоком знании и вытекающий из задач природной и космической эволюции.

Фундаментом всех разработок русских космистов стали эволюционные идеи Вернадского.

Для эволюции *Homo sapiens*, по Вернадскому, характерна цефализация. С эпохи кембрия, когда появляются зачатки центральной нервной системы, и далее идет медленное, но неуклонное усложнение, усовершенствование нервной системы, в частности головного мозга. Эта идея была высказана еще до Вернадского профессором Йельского университета Джеймсом Дана, современником Ч. Дарвина. Вернадский осмысливает ее в четкой эволюционной перспективе и вводит в науку под названием *принцип Дана*. Последовательное развитие нервной ткани, которое привело к созданию человека, вскрывает и импульсы самой эволюции, ее внутренние закономерности, намекает на некоторую идеальную программу, стремящуюся к своей реализации. Ученый полагал, что направленность развития живого не может остановиться на человеке, еще далеком от совершенной природы: «...*Homo sapiens* не есть завершение создания, он не является обладателем совершенного мыслительного аппарата. Он служит промежуточным звеном в длинной цепи существ, которые имеют прошлое и, несомненно, будут иметь будущее».

Вернадский был убежден, что человек не есть «венец творения»; за сознанием и жизнью в их нынешней форме неизбежно должны следовать «сверхсознание» и «сверхжизнь». Ему была близка идея, выдвинутая еще Бергсоном, о том, что разворачивание жизни – это космический процесс, движимый внутренним творческим «порывом». Человек – это прежде всего *Homo faber*, или человек, созидающий искусственные вещи и орудия. Искусственное расширяет способности и возможности самого человека. Творческие способности человека должны обернуться на него самого, раздвинуть его ограниченное сознание.



Родоначальником всей активно-эволюционистской космической мысли в России считают Н.Ф. Федорова, создателя «Философии общего дела». Он полагал, что природа в нас начинает не только познавать себя, но и управлять собой. В управлении силами слепой природы и заключается то великое дело, которое должно стать общим. Это управление будет основано на всеобщем познании и труде человечества. Со временем человечество выйдет в космос для его активного освоения и преображения; оно обретет новый бессмертный космический статус бытия, причем в полном составе прежде живших поколений (имманентное воскрешение). Сознательное управление эволюцией раскрывается Федоровым через ряд последовательных задач:

- регуляцию космических явлений;
- превращение стихийно-разрушительного хода природных сил в сознательно направленный;
- создание нового типа организации общества – «психократии» на основе родственного сознания;
- работу над преодолением смерти, преобразованием физической природы человека;
- бесконечное творчество бессмертной жизни во Вселенной.

На основании идей основоположников русского космизма сформировалось в настоящее время новое мировоззрение – **антропокосмизм**, автором которого считают Н.Г. Холодного, украинского академика, одного из учеников Вернадского. Он противопоставляет антропоцентризм и антропокосмизм, выделяя положительные стороны последнего. Все, что разъединяет человека, общество и природу, относится к антропоцентрическим процессам, под которыми понимаются эгоизм, честолюбие, нетерпимость, вера в незыблемость авторитетов и т.п. Все процессы, приводящие к единению с окружающей природной и социальной средой, относятся к антропокосмическим.

Среди основных характеристик **антропоцентризма** особо подчеркиваются «выделенность» человека из природы и его привилегированное положение, переоценка его значения для мироздания. Антропокосмизм как новое миропонимание исходит из того, что «...человек раз и навсегда перестает быть центром мироздания, он становится просто одной из органических составных частей, не пользующихся никакими привилегиями ни в смысле своего положения среди других существ, ни в смысле происхождения»\*.

---

\* История и философия науки / под ред. А.С. Мамзина. СПб., 2008.



Таким образом, если антропоцентризм сосредоточивает главные усилия ума и концентрирует внимание на человеке как центральной фигуре мироздания, то антропокосмизм стремится охватить сознанием весь космос. Сам же человек при этом рассматривается как часть космоса, его проявление, ибо природа человека и его судьба объяснимы только в свете знаний о космосе в целом. Но существует и обратная зависимость, согласно которой, как полагал Холодный, человек «...становится одним из мощных факторов дальнейшей эволюции природы в обитаемом им участке мироздания, и притом фактором, действующим сознательно. Это налагает на него огромную ответственность, так как делает его прямым участником процессов космического масштаба и значения»\*.

Русский космизм – это не безосновательные мечты наших выдающихся ученых-мыслителей о будущем человека и мироздания, а глубокая теория, которая не только поразительно предвосхищает современные и будущие достижения и открытия, но и дает нам обоснованную надежду на будущее и предлагает основные направления развития учения о ноосфере, ноосферогенезе.

В западной науке термин «ноосфера» до работ Дж. Лоусона практически не употреблялся или лишь очень редко проскальзывал в трудах философов. В настоящее время в западном естествознании активно разрабатывается концепция перехода биосферы в ноосферу на основе *теории Геи*, о чем будет сказано далее.

В России и других постсоветских государствах ноосфера является экологическим идеалом, конечной целью устойчивого развития.

Разрабатывая идеи преобразования биосферы через техносферу в ноосферу, Вернадский констатировал, что этим заканчивается эпоха стихийного развития человечества и начинается новая эпоха управляемого развития, которое основывается только на объективных законах эволюции природы и общества при всестороннем общественном согласии на такое управление.

Важнейшей функцией ноосферы является сохранение и развитие здоровья человека, благополучия всего человечества, что может быть возможным только при широком использовании интеллектуального человеческого капитала. Известно, что интеллектуальные возможности цивилизации напрямую зави-

---

\* История и философия науки / под ред. А.С. Мамзина.

сят от энергетических возможностей человечества, и не столько от количества и качества энергии, сколько от способности людей целенаправленно распределять энергетические и сырьевые потоки. «Человеческий разум не является формой энергии, а производит действия, как будто ей отвечающие», – писал Вернадский. Настало время перехода человеческого разума от идеи «покорения природы» к новой идее «рационального природопользования через энергосбережение». Очевидно, только при таком подходе можно познать и рационально использовать внутренние законы развития ноосферы.

На современном этапе концепция управляемого развития предполагает внедрение новой нравственности, ведущей к росту качества сознания человека и утверждению разумных, а не искусственно раздуваемых материальных потребностей; к человеку, который, прежде всего, заинтересован в создании комфортных условий существования своим потомкам. Разумное, осознанное ограничение своих материальных потребностей наряду с превалированием духовных – неизбежный этап человеческого поведения в эпоху интенсивного развития.

В настоящее время большинство цивилизованных стран, в том числе и Республика Беларусь, разработали свои национальные планы и стратегии устойчивого развития, в которых определены стратегические и тактические программы бесконфликтного взаимодействия общества с окружающей средой.

Концепции устойчивого развития не предусматривают остановку экономического роста и сокращение масштабов материального производства, как это будет показано далее. Наоборот, устойчивое развитие большинством населения воспринимается именно как устойчивый экономический рост и постоянное повышение благосостояния каждого человека. Тогда как истинный смысл концепции устойчивого развития – это развитие, поддерживающее состояние общества на экологически допустимом уровне без количественного роста потребления природных ресурсов.

К сожалению, до настоящего времени вопросы организации ноосферы и ноосферного мышления являются, скорее, утопическими. Во-первых, человеческая деятельность как была, так и остается по отношению к биосфере целиком деструктивной, т.е. человечество не приближается, а, наоборот, все быстрее движется в противоположном по отношению к ноосфере направлении. Во-вторых, сейчас уже вызывает большие сомнения сама принципиальная возможность контроля челове-

ком биосферы и биосферных процессов. Наряду с колоссальным деструктивным вмешательством в обмен вещества и энергии в биосфере человек на самом деле контролирует всего лишь мизерное количество видов живых существ. Для того чтобы контролировать все виды организмов и все взаимодействия между ними, необходимо, чтобы информационные возможности человека были сопоставимы с объемом потоков информации в естественной биоте.

Практически человечество уже выбрало другой путь: резко уменьшает число организмов, которые нужно контролировать, и пытается взять на себя средообразующую функцию биосферы.

В экологии известно *правило одного процента*, которое гласит, что изменение энергетики природной системы в среднем на 1% выводит ее из состояния гомеостаза. В соответствии с этим на стабилизацию условий окружающей среды потребуется более 99% энергетических и трудовых затрат, а на поддержание и развитие цивилизации останется менее 1%. В этом случае естественные биоценозы, утратившие свои связи и способность стабилизировать окружающую среду, становятся не только ненужными, но зачастую опасными для этой среды. Они могут искусственно сохраняться в каких-то резервациях как памятники истории природы планеты, а все оставшиеся живые организмы будут превращены в контролируемые культурные виды. Это меньше всего похоже на гармонию с природой.

Однако концепция ноосферы сохраняет ценность, поскольку представляет единство человека и природы в виде процесса – *ноосферогенеза*, ведущего к становлению единой системы человек – природная среда. Ноосферогенез – один из аспектов процесса становления родовой сущности человека, и его нельзя остановить, не отказываясь от актуализации и совершенствования потенциальных возможностей, заложенных в человеке как виде. Стремление к осуществлению своих целей в природе останется, по-видимому, главенствующим в определении человеком перспектив его взаимоотношений с природой с того момента, как он перешел от защиты своей видовой специфики к превращению ее в важный фактор формирования природной закономерности. В связи с этим понятия «ноосфера» и «ноосферогенез» требуют дальнейшего уточнения и развития.

### 4.3.1. Ноосферогенез

**Ноосферогенез** – процесс формирования и дальнейшего развития ноосферы. По современным представлениям стратегия ноосферогенеза заключается в создании ноосферной культуры в ходе достижения биосферосовместимости развития социума. Тактика ноосферогенеза реализуется с помощью приемов и средств перехода к устойчивому развитию.

Наиболее полно процесс ноосферогенеза представлен в работах академика Н.Н. Моисеева. На основании глубокого и всестороннего анализа эволюции органического мира, в том числе и человека, им показана неизбежность появления ноосферы как следующего глобального этапа эволюции биосферы. Человек включен в естественноисторический непрерывный процесс эволюции биосферы как один из элементов этой эволюции. Возникновение разума как основного источника эволюции современной биосферы было неизбежно для обеспечения доминирования вида *Номо*.

В процессе ноосферогенеза и формирования ноосферы необходимо, с одной стороны, разрешить основные проблемы, поставленные в работах Вернадского:

- равенство людей всех рас и религий;
- создание реальной возможности не допустить недоедания, голода, нищеты и снизить количество и уровень распространения болезней;
- разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;
- исключение войн из жизни общества.

С другой стороны, одновременно с решением основных проблем стратегически важными задачами на пути перехода к устойчивому развитию в процессе ноосферогенеза, которые определены современным состоянием биосферы, являются:

- утверждение новой общепланетарной парадигмы *экологического императива*;
- разработка принципов универсального эволюционизма и теории ноосферного развития;
- повсеместное внедрение идеологии рационального природопользования;
- общепланетарное признание единственно возможными кардинальные решения экологических проблем (структурная

перестройка экономики, изменение экспортной политики, конверсия, экологосбалансированные макроэкономические мероприятия и др.);

- развитие исключительно малоотходных и ресурсосберегающих технологий;
- ноосферная ориентация образования;
- развитие новой специальной синтетической научной дисциплины ноосферологии, на основе которой должны вырабатываться четкие механизмы организации ноосферогенеза.

В основе современных представлений об организации ноосферы лежит *принцип коэволюции человека и биосферы*. Именно это явление должно обеспечиваться процессом ноосферогенеза.

Моисеев рассматривает следующие этапы ноосферогенеза, которые в конечном счете должны обеспечить коэволюцию человека и биосферы, поддерживать гомеостаз сформировавшейся ноосферы.

**Возникновение рациональных форм организации общества.** *Закон дивергенции* – рост разнообразия и сложности организации материи в процессе ее самоорганизации: носит универсальный характер. Этот закон является следствием стохастичности мира и действия механизмов бифуркационного типа. Он столь же справедлив для процессов эволюции общественных структур, как и для эволюции живого вещества и мира неживой материи. Эволюция форм организации общества на протяжении всей истории человеческой цивилизации показывает, что наиболее рациональными всегда были те формы организации общественной структуры, которые максимально использовали творческий потенциал людей.

Впереди нас неизбежно ожидает растущее разнообразие социальных структур, различие темпов развития, политических устремлений. Однако эта мозаичность, это противоречивое единство могут оказаться фактором, стимулирующим развитие общественного бытия, если только общественное сознание сумеет изжить представление об антагонизме существующих государственных, политических, иных систем и перестроить привычный образ врага в образ партнера по общему делу.

**Плюрализм национальный и духовный.** *Плюрализм* в данном контексте рассматривается как характеристика демократической политической системы общества, при которой нации имеют организационные возможности для выражения своих интересов через своих представителей.

В XX в. активно разрабатывалась идея о том, что многонациональность как основа современного состояния человечества – явление временное, историческое. Считалось, что возрастающие возможности коммуникаций и единство техносферы неизбежно будут стирать национальные различия и унифицировать национальные культуры.

Формирование нации, этноса – это самый сложный динамический процесс. Достоверно известно, что этнос рождается, достигает своего расцвета и однажды приходит в упадок, давая материал для появления нового этноса. Но этногенез – это естественный процесс, один из многих, определяющих развитие нашего единого материального мира. И он, так же как и все динамически развивающиеся процессы, подчинен общим законам природы. Процессы формирования этносов подвержены действию стохастических факторов. В сфере этногенеза также проявляются и бифуркационные механизмы, следовательно, и проявление закона дивергенции также неизбежно.

На данном этапе изучение динамики этносов, исследование факторов, которые ее определяют, становятся все более важным для формирования теории ноосферогенеза. Пестрота национальной и культурной палитры планеты Земля – это великое благо, данное нам природой и ее законами. Подобно генетическому разнообразию, разнообразие национальное – это защита популяции *Homo sapiens* от случайных превратностей судьбы. Ведь каждая национальная культура, каждая традиция – это память об опыте человечества.

Реалии современного мира состоят в том, что спектры интересов и целей людей независимо от страны, региона, континента приобрели общую составляющую – угрожающее человеческому виду неразрешимое противоречие между природой и обществом. Это значит, что ранее существовавшие антагонистические противоречия в обществе, не допускающие компромиссов и любых взаимовыгодных соглашений, неизбежно должны уступить место противоречиям неантагонистическим, когда помимо собственных целей у людей возникают и цели общие. В данном случае общей целью является преодоление противоречий природа – общество путем обеспечения их коэволюции. Человечество все отчетливее сознает, что силовые методы разрешения конфликтов, и прежде всего войны, должны быть заменены мудрым спокойствием «институтов согласия» – кооперативным соглашением. А это уже и есть становление ноосферного мышления.

**Нравственный императив.** Замена «животных» норм поведения нормами человеческой морали, основанной на нравственности как форме общественного сознания, – это переломный момент в истории антропогенеза, истории становления человеческого общества.

С появлением нравственности и морали археопитек стал человеком.

*Нравственность* – внутренняя установка индивида действовать согласно своей совести и свободной воле.

*Мораль* – нравственная система норм и ценностных представлений, определяющих и регулирующих поведение человека. Наряду с законом мораль является внешним требованием общества к поведению индивида.

Нравственные категории – общечеловеческая общность: не убий, не укради, помоги слабому и т.д. Мораль же зависит в большей степени от социальной, духовной, культурной и политической организации общества и может сильно различаться в зависимости от этого.

Для достижения коэволюции общества и природы в процессе ноосферогенеза неизбежно возникновение планетарной нравственности и морали, которые бы стали основой добровольного выполнения человеком условий формирования и функционирования ноосферы. Особенностью становления ноосферной нравственности и морали является то, что у человечества нет времени на естественную эволюцию существующих потребительских нравственности и морали.

Во времена становления человека формирование общественного сознания и новых норм поведения тянулось многие тысячи поколений – именно столько, сколько шло преобразование стада неантропов в человеческое общество. Кроме того, природа для этого располагала отлаженным механизмом, с помощью которого и происходила такая перестройка – механизм естественного отбора. Только не дарвиновский механизм внутривидового отбора, действующий на уровне индивида, а отбор на уровне популяций или первобытных стад, постепенно превращающихся в человеческие племена. Те стада, в которых возникала более совершенная нравственность, более совершенная форма коллективной памяти, становились обладателями лучших знаний, оружия, более дисциплинированных боевых групп и т.д. Благодаря этому они могли уничтожить в своей экологической нише всех других, менее моральных претендентов на положение родоначальников нынешнего человечества.



Естественные механизмы отбора оказываются в современной обстановке заведомо непригодными. Человечеству в целях сохранения своего вида предстоит самому целенаправленно и быстро во временном отрезке формировать систему нравственных принципов и создавать общественные структуры, способные воплести эти принципы в ткань общественного сознания.

**Ноосферная ориентация образования.** Утверждать ноосферную мораль и нравственность силой оружия или какого-либо принуждения – путь, ведущий в никуда, в еще большее углубление и ожесточение противоречия общество – природа.

Единственный путь – это создание ноосферного мышления на основе ноосферной морали и нравственности через ноосферно-ориентированное образование на всех возрастных уровнях развития человеческой личности. Основой успешного формирования ноосферы является Учитель, тот, кто своим авторитетом подтвердит ценность и обязательность применения даваемых им знаний. Создание системы «Учитель» – основная в настоящее время общепланетарная задача, основной этап ноосферогенеза.

«Мыслить по-новому» – этот принцип своевременен сегодня во всех сферах деятельности человека. Новая эпоха истории вида *Homo sapiens*, в которой человечество уже объективно существует, диктует свои новые требования, и прежде всего требования *экологического императива*. Они постепенно все глубже и полнее понимаются учеными, и граница допустимого, запретная черта, за которую человек не имеет права выйти, становится все более осязаемой. Этот процесс понимания и роста ответственности обязан не только науке, но и сама повседневная жизнь все время преподает уроки того, чего делать нельзя.

Осознание общих опасностей неизбежно будет рождать ощущение общепланетарной общности. Человеку необходимо научиться чувствовать себя членом одной семьи, судьба которой зависит как от всех ее членов, так и от него лично – это и есть основной принцип *нравственного императива*. Для того чтобы добиться превращения этого чувства в компоненты собственного «я», нужна широкая международная просветительская программа. Только по-настоящему интеллигентное общество может оказаться способным переступить границу эпохи ноосферы. Распространение знаний, столь необходимых для



выработки норм поведения, для осознанного принятия тех или иных ограничений, нуждается в использовании всех современных средств массовой информации и их развитии.

**Гуманизация науки.** Моисеев под гуманизацией науки понимает слияние в единый научный процесс точных и гуманитарных наук, в том числе философии. Должна возникнуть новая наука, включающая в себя на равных все отрасли знания, но процесс научного познания должен идти под лозунгом коэволюции общества и природы.

Таким образом, ноогенез базируется на двух основных составляющих – экологическом и нравственном императивах.

Процесс ноосферогенеза можно представить в виде схемы (рис. 4.2).

Моисеев (1999) писал: «В основе теории ноосферогенеза должны лежать новые принципы нравственности, новая система нравов, которая должна быть универсальной для всей планеты, при всем различии цивилизаций народов, которые ее населяют. Надо поставить во главу угла научной деятельности всех желающих принять в этом участие, проблемы, связанные с обеспечением коэволюции Природы и Общества, и начать серьезно разрабатывать новую структуру общественных отношений для единого планетарного сообщества».

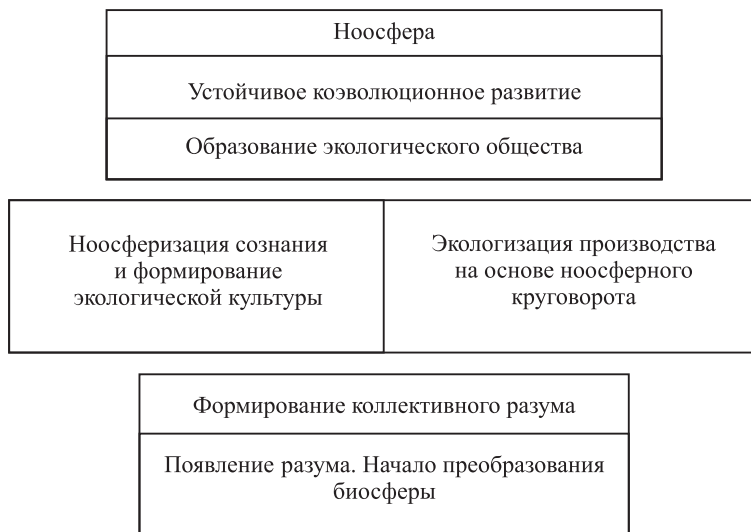


Рис. 4.2. Процесс ноосферогенеза (по Н. Моисееву)

### 4.3.2. Козволюция человек – биосфера

**Козволюция** – совместная (сопряженная) эволюция двух (или более) таксонов, объединенных тесными экологическими связями, но не обменивающимися генами. При этом действует реципрокное давление отбора, приводящее к тому, что эволюция одного таксона частично зависит от эволюции другого.

Козволюцию как одну из движущих сил эволюционного процесса рассматривал еще Ч. Дарвин в своей эволюционной теории.

В дальнейшем процесс коэволюции был перенесен на выявление направлений и закономерностей эволюции экосистем и биосферы.

При рассмотрении вопроса эволюции экосистем Одум подчеркивает два важных принципа:

- в ходе эволюции и развития экосистем существует тенденция к уменьшению роли отрицательных взаимодействий за счет положительных, увеличивающих выживание взаимодействующих видов;
- в недавно сформировавшихся или новых ассоциациях вероятность возникновения сильных отрицательных взаимодействий больше, чем в старых ассоциациях.

Однако трудности нужны, чтобы организмы их преодолевали и таким образом совершенствовались. В природе нет ничего вредного для вида, а то, что вредно для индивида и популяции, полезно для вида с точки зрения эволюции.

Отрицательные взаимодействия могут ускорять естественный отбор, приводя к возникновению новых адаптаций, морфологических и физиологических изменений и способствуя тем самым увеличению разнообразия признаков и эволюции видов. Борьба на одном уровне органического мира может влиять на другие уровни противостояния. Например, вырабатываемый в процессе *антибиоза* (формы конкуренции, при которой один вид выделяет вещества, вредные для представителей других видов) грибом рода *Penicillium* ингибитор развития бактерий, названный пенициллином, широко применяется в медицине. Вещества, которые вырабатываются в процессе антибиоза целым рядом других организмов, получили название антибиотиков. Они стали спасателями человечества на определенной стадии его существования.

Основной особенностью отрицательного взаимодействия популяций является то, что при их синхронной эволюции в стабильной экосистеме степень отрицательного влияния уменьшается. «Иными словами, естественный отбор стремится уменьшить отрицательные влияния или вообще устранить взаимодействие популяций, поскольку продолжительное и сильное подавление популяции добычи или хозяина популяцией хищника или паразита может привести к уничтожению одной из них или обеих» (Ю. Одум, 1969).

Условием уменьшения отрицательного взаимодействия является стабильность экосистемы и то, что ее пространственная структура обеспечивает возможность взаимного приспособления популяций. Отрицательные и положительные отношения между популяциями в экосистемах, которые достигают стабильного состояния, в конце концов, уравнивают друг друга.

Положительные взаимодействия образовались в ходе эволюции в следующей последовательности: *комменсализм* (преимущество имеет одна популяция), *кооперация* (пользу получают обе популяции) и *мутуализм* (пользу получают обе популяции, причем они полностью зависят друг от друга). Кооперация встречается в природе столь же часто, как и конкуренция, причем объединяются порой весьма разные организмы с сильно различающимися потребностями, а конкурируют организмы со сходными потребностями.

Мутуалистические отношения, по-видимому, замещают паразитизм в ходе созревания экосистемы. Они особенно важны, когда лимитированы некоторые ресурсы среды.

*Симбиоз* – образ жизни большинства организмов и один из наиболее созидательных факторов эволюции. Совместная жизнь приводит к появлению новых видов и признаков. Эндосимбиоз (внутренний симбиоз партнеров) – механизм усложнения строения многих организмов. Изучение ДНК простых организмов подтверждает, что сложные организмы произошли из соединения простых.

Так происходит переход от целесообразности на уровне организмов к целесообразности на уровне сообществ и жизни в целом – целесообразности в научном смысле слова, определяемой тем, что существуют не внешние по отношению к сообществам, а внутренние объективные надорганизменные механизмы эволюции, которые изучает наука.

С точки зрения концепции коэволюции естественный отбор, который играл главную роль у Дарвина, является не «автором», а скорее «редактором» эволюции. Конечно, в этой сложной области исследований науку ждет еще немало важных открытий.

Эволюция идет за счет естественного отбора не только на видовом уровне. «Естественный отбор на более высоких уровнях также играет важную роль, особенно 1) сопряженная эволюция, т.е. взаимный отбор зависящих друг от друга автотрофов и гетеротрофов, и 2) групповой отбор, или отбор на уровне сообществ, который ведет к сохранению признаков, благоприятных для группы в целом, даже если они не благоприятны для конкретных носителей этих признаков» (Ю. Одум, 1969).

Одум дает следующее определение коэволюции, или сопряженной эволюции: «... это тип эволюции сообщества (т.е. эволюционных взаимодействий между организмами, при которых обмен генетической информацией между компонентами минимален или отсутствует), заключающийся во взаимных селективных воздействиях друг на друга двух больших групп организмов, находящихся в тесной экологической взаимозависимости». Гипотеза сопряженной эволюции Эрлиха и Равена (1965) сводится к следующему: в результате случайных мутаций или рекомбинаций растения начинают синтезировать химические вещества, не имеющие непосредственного отношения к основным путям метаболизма или, возможно, являющиеся побочными отходами, возникающими на этих путях. Вещества эти не мешают нормальному росту и развитию, но могут уменьшать привлекательность растений для растительноядных животных. Отбор приводит к закреплению данного признака. Однако насекомые-фитофаги могут выработать ответную реакцию (наподобие устойчивости к инсектицидам). Если в популяции насекомых появится мутант или рекомбинант, способный питаться растениями, которые прежде были устойчивы к данному насекомому, отбор закрепит этот признак. Таким образом, растения и фитофаги эволюционируют вместе.

Отсюда следует выражение *генетическая обратная связь*. Так называют обратную связь, в результате которой один вид является фактором отбора для другого, и этот отбор влияет на генетическую конституцию второго вида. Групповой отбор, т.е. естественный отбор в группах организмов, является генетическим механизмом коэволюции. Он ведет к сохранению

признаков, благоприятных для популяций и сообществ в целом, но не выгодных для их отдельных генетических носителей внутри популяций. Концепция коэволюции объясняет факты альтруизма у животных: заботу о детях, устранение агрессивности путем демонстрации «умиротворяющих поз», повиновение вожакам, взаимопомощь в трудных ситуациях и т.п.

Данный генетический механизм может привести и к гибели популяции, если ее деятельность вредит сообществу. Известно, что вымирание популяций может происходить с высокой скоростью, и здесь сказывается именно групповой отбор. Это предупреждение человеку, который противопоставил себя биосфере.

Сравнивая с системой *хозяин – паразит*, человека называют паразитом, живущим за счет ресурсов биосферы и не заботящимся о благосостоянии своего хозяина. Выше было отмечено, что в процессе эволюции паразитизм склонен сменяться мутуализмом. Перейдя от охоты к земледелию и скотоводству, человек тем самым сделал шаг по пути к мутуализму с окружающей средой. Возможно, стремление к охране природы не столько результат дальновидности человека и осознания им экологических законов, сколько действие группового отбора, который заставляет познавать биосферу и использовать результаты науки для гармонизации отношений с ней.

Впервые с концепцией *коэволюции человека и биосферы (природы и общества)*, которая должна была выстроить оптимальное соотношение интересов социума и биосферы, выступил в 1968 г. Н.В. Тимофеев-Ресовский. С тех пор тема коэволюции человека и биосферы становится ключевой в понимании природы человека и в определении судеб человечества.

Концепция коэволюции человека и биосферы базируется на принципах, согласно которым человечество, изменяя биосферу по своим потребностям, должно изменяться и само с учетом объективных требований природы.

«Мы столь радикально изменили нашу среду, – утверждал Н. Винер, – что теперь для того, чтобы существовать в ней, мы должны изменить себя». Именно коэволюционный переход системы *человек – биосфера* к состоянию динамически устойчивой целостности, симбиоза и будет означать реальное превращение биосферы в ноосферу. Для обеспечения этого процесса человечество должно следовать, прежде всего, экологическому и нравственному императивам.

Данная концепция возникла на основании всего исторического опыта человечества, интуитивно содержащего в себе определенные регламентации и императивы социоприродного взаимодействия.

Разработка идей коэволюции требует четкой формулировки системы экологических императивов, способных снизить опасность угрозы уничтожения естественных ландшафтов природы, ее разнообразных живых организмов, самого человека и всей жизни на планете.

В 1915 г. немецкий ученый-богослов А. Швейцер сформулировал базовый принцип культуры – *принцип благоговения перед жизнью*, требующий нравственного совершенствования как индивидуума, так и общества.

Содержание концепции Швейцера состоит в следующем:

- реальный мир – мир, полный жизни;
- о мире человек знает только то, что все существующее, как и он сам, является проявлением воли к жизни; к этому миру он имеет как пассивное, так и активное отношение; как существо, стоящее в пассивном отношении к миру, он приходит к духовной связи с ним через смирение; как существо, стоящее в активном отношении к миру, человек приходит к духовной связи с ним благодаря тому, что не живет для себя одного, а чувствует себя одним целым со всей жизнью, которая находится в сфере его влияния;

- начав думать о тайне своей жизни и о связях, соединяющих его с жизнью, человек уже не может относиться к своей и окружающей его жизни иначе, как в соответствии с принципом «благоговения перед жизнью», и этот принцип не может не проявиться в этическом миро- и жизнеутверждении, которое выражается в его действиях; он будет не просто жить, а по-настоящему испытывать жизнь;

- для человека по-настоящему нравственной жизнью священна даже та, которая находится на нижней границе шкалы ценностей, он делает различия только в каждом конкретном случае, под давлением необходимости, например когда ему предстоит решить, какой из двух жизней он должен пожертвовать, чтобы сохранить другую. «Если этика благоговения перед жизнью затронула его, – пишет Швейцер, – он наносит вред жизни и разрушает ее лишь в силу необходимости, которой он не может избежать, и никогда – из-за недомыслия. Насколько он является свободным человеком, настолько он ис-

пользует любую возможность, чтобы испытать блаженство: оказаться в состоянии помочь жизни и отвести от нее страдание и разрушение».

Этика Швейцера одинаково и гуманистична, и реалистична. Признавая тот факт, что человек не может избежать насилия над жизнью и ее уничтожения, тем не менее он, как существо разумное, не будет этого делать на субъективном основании, произвольно, помня всегда о том, что «он несет ответственность за жизнь, которая принесена в жертву».

Такого рода этический подход, весьма близкий принципу ненасилия, может способствовать разрешению глобальной проблемы гармонизации взаимодействия человека и природы, полноте использования собственного разума, когда индивид осознает окружающий мир как ценность, так и как собственную ценность и когда эти ценности связаны воедино неразрывными узами.

Принцип Швейцера лег в основу современной концепции *экологической этики*.

Дальнейшее развитие идей Швейцера, положений экологической этики и принципов эколого-нравственного императива привело к выделению новой, последней стадии развития биосферы Земли, так называемой этосфере как более высокой по отношению к ноосфере.

*Этосфера* – это область бытия, основанного на принципах нравственного отношения к природе, ко всему живому на планете. Ее носителем должен стать этически разумный человек, действующий не только в своих интересах, но и в интересах жизни на Земле. Основой и механизмом появления, развития и функционирования этосферы может стать только коэволюция человека и биосферы.

### 4.3.3. Концепция Геи и ноосферогенез

Концепция возникла в последние десятилетия XX в. на основе учения о биосфере, общей теории эволюции и концепции коэволюции. Авторами ее являются английский химик Дж. Лавлок и американский микробиолог Л. Маргулис. В основе ее лежит представление о том, что живые организмы, объединенные в целое со средой своего обитания, могут на каждом более высоком уровне все в большей степени контролировать условия существования. Согласно концепции Геи,

эволюция биоты (совокупности всех биологических организмов планеты) настолько тесно связана с эволюцией их физического окружения в масштабе планеты, что вместе они составляют нечто, единую саморазвивающуюся систему, которая обладает саморегуляторными свойствами, напоминающими физиологические свойства живого организма. Это нечто и названо Геей по имени греческой богини Земли (Gaia). Такое название, предложенное известным английским писателем, лауреатом Нобелевской премии по литературе У. Голдингом, выбрано отнюдь не случайно и имеет глубокий внутренний смысл.

Гея как своего рода самоорганизующаяся система, суперорганизм, обладает саморегуляторными геофизиологическими свойствами, т.е. поддерживает целый ряд параметров внутренней среды в относительно стабильном, благоприятном для живых организмов уровне (гомеостазе) в любом временном срезе.

Собственно гипотеза Геи и состоит в утверждении, что в планетарном масштабе жизнь активно поддерживает относительно стабильные условия на Земле, комфортные для собственного существования. Иначе говоря, биота организует глобальные параметры среды, непрерывно подстраивая их под себя, в процессе собственного эволюционного развития (*гомеорез*).

«...Весь облик Земли, климат, состав горных пород, воздуха и океанских вод есть не только результат геологических процессов, но и является следствием присутствия жизни. Благодаря непрекращающейся активности живых организмов условия на планете поддерживаются в благоприятном для жизни состоянии на протяжении последних 3,6 миллиардов лет. Любые виды, которые неблагоприятным образом влияют на окружающую среду, делают ее менее пригодной для потомства и будут, в конце концов, изгнаны так же, как более слабые, эволюционно неприспособленные виды...» (Lovelock, 1991).

Разрабатывая теорию Геи, Лавлок ввел понятие *геофизиологии*. Как синтетическая наука о Земле, она изучает свойства и развитие целостной системы, тесно связанными компонентами которой являются биота, атмосфера, океаны, земная кора. Геофизиология ориентируется на поиск и изучение механизмов саморегуляции на планетарном уровне путем установления связей циклических, самопродуцирующихся, аутопоэтических процессов на клеточно-молекулярном уровне с подобными процессами на других связанных уровнях, таких как организм, экосистемы и планета в целом (Lovelock, 1991).



С точки зрения геофизиологии (теории Геи) жизнь – это свойство целостной связанной системы, которая открыта для потоков энергии и вещества и обладает способностью поддерживать постоянным свое внутреннее состояние.

Предполагается, что саморегуляция таких важных свойств, как климат и химический состав, является эмерджентным свойством процесса развития (эпигенеза) Геи. В результате процесса совместной эволюции биоты и среды родилась, развилась и достигла зрелого возраста Гея. При этом такие глобальные параметры Геи, как химический состав атмосферы, ионный состав морской воды, климат, поддерживаются в далеком от термодинамического равновесия состоянии, благоприятном для существования самой жизни. В данной системе живое и неживое настолько неразделимы и нужны друг другу, участвуя в общем глобальном процессе путем круговорота и переноса веществ, обмена информацией, что традиционное представление о среде как о совокупности внешних факторов, к которым организм вынужден приспосабливаться в процессе адаптации и эволюции, выглядит односторонним и узким взглядом изнутри, с точки зрения популяции, вида, да и то в ограниченных временных рамках, справедливых только в масштабах существования мелких таксонов и частных типов экосистем.

В процессе эволюции биосферы изменялись вместе как биота, так и преобразуемая, организуемая ею неорганическая среда. Таким образом, эволюция биосферы – это на самом деле эволюция *аутопоэзиса* – огромной организмоподобной системы с многоуровневой самоподдерживающейся, циклически организованной самопродуцирующейся организацией, частью которой является и человек. Этот процесс не сводится к дарвиновскому механизму эволюции, а также к традиционным концепциям макроэволюции, в которых не учитывается грандиозное преобразование биотой среды в процессе эволюции биосферы и обратное влияние этих преобразований на биоту.

Научно-теоретическая часть концепции Геи, т.е. геофизиология, очень близка концепции биосферы Вернадского. В 70-х гг. XX в. Лавлок еще не был знаком с трудами великого русского ученого и мыслителя, о чем он с сожалением пишет в своих работах. Он объясняет свое незнание, с одной стороны, отсутствием до последнего времени удачных переводов «Биосферы» Вернадского на английский язык, а с другой – неприятием западной наукой иных императивов.

На сегодняшний день можно говорить о небывалом всплеске популярности работ Вернадского, Моисеева, Шмальгаузена и других русских ученых-естественников на Западе, что связано с ростом интереса к проблемам глобальной экологии. После публикации на английском языке работ историков науки и самого полного текста «Биосферы» Вернадского (1999) с критическими комментариями известного американского специалиста Мак-Менамина мировая научная общественность получила возможность осознать провидческий смысл целого ряда идей великого русского ученого.

Несмотря на заметное общее сходство концепции биосферы в поздних работах Вернадского, которые еще недоступны западной научной мысли, и концепции Геи, между ними имеются различия в расстановке определенных акцентов как в научном, так и в философском плане:

- во-первых, Гея – это Земля в целом с космическим пространством, а не биосфера. Поэтому Лавлок не касается вопроса о пространственных границах Геи, оставляя этот вопрос открытым;

- во-вторых, концепция Геи выдвинута намного позднее концепции биосферы, в ином социально-историческом контексте, в период быстрого развития экологического кризиса, вызванного в немалой степени бурным научно-техническим прогрессом. Основательная критика индустриального общества со стороны современных философов и переориентация науки на познание сложных самоорганизующихся процессов усилили скепсис по отношению к возможностям контроля человеком окружающей среды, полного подчинения ее своим интересам. Не случайно в концепции Геи усиливается и доводится почти до организменного уровня свойство целостности, автономности.

В связи с этим в своем теоретическом устремлении геофизиология больше ориентируется не на классическую теорию управления – кибернетику первого порядка, а на кибернетику второго порядка – синергетику, теорию аутопоэзиса с их прагматической ориентацией и совершенно новым пониманием информации, творческих возможностей изучаемой сверхсложной системы, коэволюции с ней, а не подчинения ее диктату и управлению со стороны человека.

Разработка концепции Геи Лавлоком основывалась на естественнонаучных предпосылках. Он рассматривал процесс симбиотических отношений термит – простейшие.

Термиты строят в тропических лесах огромные, до пятнадцати метров высотой, конусообразные гнезда. Исходным материалом для строительства термитника является древесина. В пищеварительном тракте термита съеденная целлюлоза превращается в углеводороды, необходимые для жизнедеятельности термита, а отходы превращаются в крохотные, геометрически правильные и поразительно твердые лепешечки лигнина, из которых и воздвигается термитник.

Собственно организм термита не может переваривать целлюлозу из древесины, так как в его пищеварительной системе отсутствуют соответствующие ферменты, однако в ней обитают многочисленные одноклеточные организмы – *Mixotricha paradoxa*.

Миксотрихи выделяют специфические ферменты, разлагающие древесную целлюлозу на усвояемые термитом углеводы и отходы их жизнедеятельности – лигнин, т.е. именно эти микроскопические существа, живущие в пищеварительном тракте термита, осуществляют самый сложный биохимический процесс превращения древесины в питательные вещества, который лежит в основе всей термитной жизни и всего термитного сообщества.

В свою очередь, каждая *M. paradoxa* для своего жизнеобеспечения использует 250 000 клеток бактерии *Treponema Spirochetes*, а также 200 более крупных *Canaleparolina darwiniensis*, имеющих вытянутую, спиралевидную форму и прикрепленных к поверхности протиста.

*M. paradoxa* лишена митохондрий, а их функции берут на себя аэробные бактерии, живущие внутри ее клетки.

Если рассмотреть одну из микроскопических миксотрих с помощью электронного микроскопа, то можно увидеть, что те изящные реснички, выступающие из ее боков и так удивительно согласованно, в такт поднимающиеся и опускающиеся, придающие миксотрихе ее стремительное движение в пищеварительном тракте термита, на самом деле являются совсем не ресничками, а совершенно отдельными существами еще меньших размеров, которые принадлежат к семейству спирохет.

Эти спирохеты покрывают на идеально равных интервалах всю поверхность миксотрихи и помогают ей перемещаться в поисках еще непереваренной древесины. Поблизости от спирохет на поверхности миксотрихи располагаются микроскопические овальные тельца, а между жгутиками самих спирохет обитает множество бактерий, живущих в симбиозе с миксо-

трихой и спирохетами и вырабатывающих часть ферментов, которые нужны микротрихам для переработки целлюлозы в углеводороды и лигнин.

Таких примеров известно множество. Изучение симбиотических отношений ряда организмов позволило биологу, ныне профессору биологии Амхерстского университета Л. Маргулис в 60-х гг. XX в. предложить свою теорию эволюции органического мира. Она пишет о себе и своих идеях так: «Я занимаюсь эволюционной биологией, но объектом моих исследований являются одноклеточные и микроорганизмы.

На основании бесчисленных наблюдений и экспериментов известно, что эволюция основана на естественном отборе, выбирающем из всех разновидностей данного организма те, которые в результате мутаций приобрели некоторые способствующие выживанию свойства. Неизвестно только, откуда берутся эти полезные свойства. Этот вопрос до сих пор не имел достаточно ясного ответа.

Я утверждаю, что важнейшими такими свойствами мы обязаны связям между организмами, тому явлению, которое русский исследователь К. Мережковский когда-то назвал «симбиогенезом».

Под *симбиогенезом* я понимаю включение генетического материала микроорганизмов в наследственные клетки растений или животных. Возникающие в результате новые генетические системы – гибриды бактериальной и растительной или бактериальной и животной клеток – являются чем-то подлинно новым, принципиально отличающимся от исходных клеток, не содержавших материалы симбионта. Из таких «химер» постепенно складываются все более и более сложные биологические системы. Я не верю, что такие новые системы, новые биологические виды могут возникать на основе одних лишь случайных мутаций».

«Симбиоз, говорит далее Маргулис, – это физическое объединение различных организмов, их совместное проживание в одном и том же пространстве и времени. Но истинный симбиоз не имеет ничего общего с банальным его пониманием как взаимовыгодное сотрудничество, основанное на одном лишь балансе выгод и затрат. Такой «экономический» подход пригоден только для объяснения и понимания современных симбиотических систем, которые, как правило, представляют собой систему нескольких механически сосуществующих организмов, застрявшую на полпути эволюции и уже не развивающуюся далее».

По утверждению Маргулис, истинный симбиоз состоит в том, что в результате длительного сосуществования он всегда приводил к органическому слиянию разнородных организмов в некое новое целое и в этом смысле всегда являлся главным фактором эволюционного обновления.

Этот взгляд на симбиоз многим биологам кажется слишком радикальным. Сама Маргулис пришла к нему на основании нескольких хорошо известных и описанных биологических фактов.

Маргулис обратила внимание на то, что у простейшего организма *Paramecia Aurelia* существует так называемый ген-убийца, передача которого по наследству происходит по иным правилам, нежели передача по наследству хромосомных генов. Оказалось, что этот ген содержится не в клеточном ядре парамеции, а в ее цитоплазме, окружающей это ядро. У простейших уже обнаружено довольно много таких цитоплазменных генов.

Не так давно два американских исследователя, Д. Лак и Дж. Холл, заявили, что нашли их даже в клетках довольно сложных водорослей. Все эти факты побудили некоторых ученых выдвинуть осторожные догадки, согласно которым эти внеядерные гены являются остаточным генетическим материалом каких-то вирусов или бактерий, случайно попавших в клетку и застрявших в ней по неизвестным нам причинам.

Маргулис выдвинула радикально смелую гипотезу, утверждающую, что все такие гены являются в действительности частью отдельных и крайне древних живых организмов, по сей день живущих внутри клеток более высокой сложности в симбиотическом сосуществовании с ними.

В 1966 г. Маргулис опубликовала статью, в которой утверждалось, что сложные клетки возникли из более простых путем симбиоза и объединения их вещества и генетического материала, т.е. путем симбиогенеза. Статья была отвергнута пятнадцатью научными журналами как «неподходящая для публикации», прежде чем ее принял «Журнал теоретической биологии».

В 1980 г. была опубликована монография Маргулис «Происхождение эукариотных клеток», которая сегодня считается классическим трудом. Гипотеза симбиогенеза, выдвинутая и развитая ею, получила широкое признание. В основном это произошло благодаря новым открытиям, подтвердившим ее

правоту. Прежде всего здесь надо отметить исследования хлоропластов в растительных клетках и митохондрий в клетках растений и животных.

Главная особенность этих двух органелл, если не считать наличия у них собственных генов, состоит в том, что они выполняют важнейшие для жизнедеятельности клетки функции. Хлоропласты с их хлорофиллом осуществляют процесс фотосинтеза, столь характерный для растительных клеток и снабжающий их органическими материалами для роста. Митохондрии, имеющие в своих мембранах ферменты АТФ-синтеза, осуществляют процесс создания молекул АТФ, которые являются аккумуляторами химической энергии для клетки в целом, необходимой для ее роста и развития.

Биологи выдвигали различные гипотезы об эволюционном происхождении митохондрий. У бактерий митохондрии отсутствуют. Однако в бактериальной клетке имеются мембраны, аналогичные мембранам митохондрий, в которые как бы встроены ферменты, образующие систему переноса электронов. У некоторых бактерий эти мембраны лежат непосредственно под плазматической мембраной. Другие бактерии имеют сложную систему тонких параллельных пластинок, пересекающих центральную часть бактериальной клетки. В этих пластинчатых мембранах также находятся ферменты, участвующие в процессе переноса электронов. Считается, что по мере укрупнения и усложнения бактериальной клетки эти мембраны образовывали складки и в конце концов отделились, образовав митохондрии. Аналогично трактуется возникновение и эволюция хлоропластов.

Более естественна теория симбиогенеза, так как эти особенности строения бактериальной клетки, митохондрий и хлоропластов убедительно говорят о том, что эукариотные клетки в целом имеют как минимум две генетические родословные, ведут начало по меньшей мере от двух родителей. Миллиарды лет назад эти органеллы были отдельными живыми простейшими организмами. Затем на каком-то этапе эволюции они соединили свою судьбу с судьбой других таких же простейших клеток, вступив с ними в тесный симбиоз, и в результате этого образовали нынешние эукариоты. В настоящее время обсуждается вопрос о том, что даже главная отличительная характеристика эукариотов – клеточное ядро с его мембраной, отделяющей это ядро от окружающей цитоплазмы с ее органеллами, – тоже возникло благодаря симбиозу или вследствие него:

появление мембраны могло быть эволюционным шагом, предназначенным для защиты собственного генетического материала от генов симбионта.

«Почти миллиард лет подряд, – пишет Л. Маргулис, – единственными существующими на Земле формами жизни были так называемые прокариоты – простейшие одноклеточные организмы, вроде бактерий и сине-зеленых водорослей, лишённые ядра. Они и сегодня являются господствующими формами жизни на нашей планете потому, что их чудовищно много. Однако сами по себе, взятые по отдельности, они не очень интересны и не очень сложны. Весь этот первый миллиард лет они просуществовали без изменений. Подлинная эволюция началась с появления эукариотов. И этот решающий шаг эволюции был вызван как раз симбиозом прокариотов различного типа».

Замечательным доказательством верности всех этих представлений является открытая недавно структура хлоропластовой мембраны в одном из видов растительных клеток: эта мембрана оказалась не двухслойной, как все обычные клеточные мембраны, а четырехслойной, как и следовало ожидать для двухслойной мембраны бывшей бактерии, окутанной двухслойной же мембраной клетки, некогда бывшей средой обитания этой бактерии.

Скорее всего, симбиогенез на первых своих этапах больше походил на вторжение в организм чужеродных патогенов. Большинство организмов погибло, выжили те, кто в силу тех или иных причин смогли конкурентную борьбу превратить в симбиотическое равновесие.

Некоторые микробиологи убеждены, что в клетках нашего организма до сих пор дремлют древние вирусы. Возможно, генетический материал таких вирусов стал частью дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Скорее всего, поразительная способность ретровирусов (вируса синдрома приобретенного иммунодефицита – СПИДа) и некоторых других вирусов встраивать свои гены в человеческую ДНК и ДНК высших растений и животных – это остаток некогда существовавшего симбиоза.

С начала 90-х гг. XX в. стала развиваться техника микровидеосъемки процессов взаимодействия клеток с вторгшимися в них микробами и бактериями. Многие детали этих процессов стали воочию зримыми, и эти детали вынудили специалистов прийти к выводу, сформулированному доктором Джулией Тео-рио из Института биомедицинских исследований в Кембридже:



«...практически во всех случаях такого инфекционного вторжения ущерб, причиняемый им (вирусом) организму, является в определенной мере также и «виной» самого организма: ущерб вызывает не только сам патоген, но и спровоцированная им ошибочная реакция клетки на его вторжение».

Сегодня известно несколько уровней такой невольной, скорее всего симбиотического происхождения, помощи, которую клетка оказывает патогенному объекту. Например, некоторые виды стафилококков выделяют во время первичной атаки полезные для клетки вещества, и она добровольно предоставляет им свои рецепторы. Холерный вибрион сразу занимает внешние рецепторы клетки, используя эту удобную позицию, чтобы выделить в клетку свои токсины.

Простейшая кишечная палочка *Escherichia coli*, вызывающая диарею, попадая в кишечник за счет продуцирования определенного белка, понуждает клетку кишечника сбросить наружные ворсинки, чтобы бактерии было легче прикрепиться на ее поверхность. А после этого, выделяя другой белок, она провоцирует ту же клетку создать для нее выпячивание в мембране, своего рода «пьедестал», находясь на котором бактерия оказывается недоступной для клеточных средств защиты.

Способностью проникать внутрь клетки наделены очень многие патогенные бактерии и вирусы. Они реализуют ее посредством посылки особого химического сигнала о своем присутствии, в ответ на который клетка выпячивает свою мембрану в сторону приблизившейся бактерии, обволакивает ее и втягивает в себя. Оказавшись внутри клетки, бактерия тотчас начинает выделять специфические ферменты, которые разрушают клеточную мембрану и позволяют бактерии войти в цитоплазму, где она зачастую становится постоянным агентом, образовав вокруг себя защитную вакуоль. Во многих случаях такие бактерии используют эту вакуоль как средство перехода к новому этапу развития инфекции. Они начинают напрямую переходить из клетки в клетку, минуя таким образом защитные системы организма.

Похоже, что именно симбиоз составляет одну из неперменных основ жизни, а возможно, и какую-то универсальную суть. Как сказал американский биолог, исследователь симбиотических отношений, Льюис Томас «...быть может, поняв эту суть, эту подстилающую жизнь тенденцию к объединению и кооперации клеток, которая в конечном счете породила розы, дельфинов и нас самих, мы поняли бы, что та же самая тен-



денция побуждает организмы объединяться в коллективы, коллективы организмов – в экологические системы, а все эти системы – в единую биосферу. И тогда все наши защитные иммунные реакции и рефлекторные ответы на агрессию «чужого» оказались бы лишь средствами регулировки и модуляции этого великого и всеобщего процесса симбиоза, предназначенными не для полного его прекращения, а только для того, чтобы он не вышел из-под контроля».

Учение Вернадского о биосфере, концепция Геи Лавлока – Маргулис, концепция ноосферогенеза Моисеева в сущности и показывают, что вся Земля представляет собой единый огромный организм, точнее – единую экологическую систему, которая состоит из огромного числа симбиотически взаимодействующих меньших экосистем, находящихся в равновесном состоянии. Этот симбиоз выработывался в течение всего процесса эволюции нашей планеты – от раскаленного сгустка космической материи до нынешней «всюдости» жизни. И ноосфера – это неизбежный эволюционный этап развития планеты в целом через симбиотическое преобразование каждого элемента, ее составляющего.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Дайте определение понятия «ноосфера» в его историческом развитии.
2. Назовите основные черты ноосферы по представлению Вернадского.
3. Что такое ноосферогенез?
4. Дайте краткую характеристику этапов ноосферогенеза.
5. В чем заключается концепция Геи?
6. Как соотносятся концепция ноосферы Вернадского с концепцией Геи?

## ГЛАВА 5

# АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

---

### 5.1. Основные виды антропогенных воздействий и их влияние на биоту

По А.Н. Тетиору (1992), к *антропогенным воздействиям* относят все виды угнетающих природу воздействий, создаваемых техникой и непосредственно человеком.

В более общем смысле под антропогенными воздействиями понимают деятельность, связанную с реализацией экономических, военных, рекреационных и иных интересов человечества, вносящую физические, химические и биологические изменения в окружающую природную среду. Все антропогенные воздействия делятся:

- на загрязнения (внесение в среду нехарактерных для нее веществ, микроорганизмов, энергий или превышение естественного уровня этих агентов);
- техногенные преобразования и разрушение природных систем и ландшафтов в процессе строительства, добычи полезных ископаемых, военных действий и т.д.;
- исчерпание природных ресурсов;
- глобальные климатические воздействия в связи с деятельностью человека;
- эстетические воздействия (изменения природных форм, неблагоприятные для визуального восприятия).

Антропогенные воздействия на биосферу по их экологическим последствиям разделяют на положительные и отрицательные (негативные).

К *положительным* воздействиям можно отнести воспроизводство природных ресурсов, восстановление запасов подземных вод, полезащитное лесоразведение, рекультивацию земель на месте разработок полезных ископаемых и др.

К *отрицательным* (негативным) воздействиям относят все виды воздействий, создаваемых человеком и угнетающих природу. Небывалые по мощности и разнообразию негативные антропогенные воздействия особенно резко стали проявляться во второй половине XX в. Под их влиянием естествен-

ная биота экосистем перестала служить гарантом устойчивости биосферы, как это наблюдалось ранее в течение миллиардов лет.

Отрицательное (негативное) воздействие проявляется в самых разнообразных и масштабных акциях: исчерпании природных ресурсов, вырубке леса на больших площадях, засолении и опустынивании земель, вымирании, сокращении численности и видов животных и растений и т.д.

Наиболее распространенным видом негативного антропогенного воздействия на отдельные экосистемы и биосферу является **загрязнение**.

По видам загрязнений выделяют механические, химические, биологические, физические, визуальные, генетические, биоценотические и ландшафтные загрязнения.

По своей природе, глубине и площади распространения, времени действия и характеру приложения они могут быть различными: целенаправленными и стихийными, прямыми и косвенными, длительными и кратковременными, точечными и площадными и т.д.

Под загрязнением в широком смысле слова понимается привнесение в окружающую среду новых (обычно нехарактерных для нее) физических, химических, биологических и информационных агентов или техногенное превышение уровня естественных факторов, приводящее к негативным последствиям.

В более узком смысле *загрязняющими веществами – поллютантами* (от лат. *pollutio* – мараение) считаются отходы и продукты, которые могут оказывать более или менее специфическое негативное влияние на качество среды или непосредственно воздействовать на элементы ее организации. В зависимости от того, какая из сред – атмосфера, гидросфера или литосфера – загрязняется теми или иными веществами, различают *аэрополлютанты, гидрополлютанты* и *терраполлютанты*.

Загрязнение может быть механическим, химическим, осморфным, биологическим, физическим, биоценотическим, ландшафтным.

**Механическое загрязнение.** Такое загрязнение осуществляется относительно инертными в физико-химическом отношении отходами человеческой деятельности: полимерными материалами в виде разного рода упаковок и тары, отработанными автопокрышками, строительным и бытовым мусором, твердыми отходами промышленного производства, аэрозолями и т.д.

Воздух может загрязняться аэрозолями (пылями) дезинтеграции, конденсации и вторичными взвешенными веществами, образующимися в процессе сжигания жидких и газообразных топлив, а также при протекании газофазных и фотохимических реакций в атмосфере. Время жизни частиц аэрозолей в воздухе и степень их воздействия на человека зависят от многих факторов, и прежде всего от размера частиц.

В настоящее время в земной атмосфере содержится более 20 млн т аэрозолей, которые по одной из классификаций можно условно разделить на три группы:

- пыли, представляющие собой твердые частицы, диспергированные в воздухе и образующиеся в процессе дезинтеграции;
- дымы – сконденсированные высокодисперсные частицы твердых веществ, возникающие при горении, испарении расплавов, растворов, проведении химических реакций и др.;
- туманы – скопление жидких частиц в газообразной среде.

Размер частиц аэрозолей в воздухе колеблется от 0,01 до 100 мкм. Крупные частицы с размером более 10 мкм быстро осаждаются из атмосферного воздуха, а мелкие, с размером частиц 0,01–0,1 мкм, как правило, выносятся в более высокие слои атмосферы и вымываются из нее с осадками.

Степень воздействия аэрозолей на организм человека зависит от количества (дозы) попавшей в него пыли и определяет ее проникающей способностью (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Проникающая способность аэрозолей в организм человека

Размер частиц, мкм	Проникающая способность
Более 11	Практически не проникают
7–11	Накапливаются в носовой полости
4,7–7	Проникают в горло
3,3–4,7	Проникают в трахею и долевые бронхи
2,1–3,3	Проникают в сегментарные бронхи
1,1–2,1	Накапливаются в глубокой части бронхов
0,65–1,10	Проникают в бронхиолы
0,43–0,65	Проникают в альвеолы легких

*Засорение среды* является одной из форм механического загрязнения, оно существенно ухудшает эстетические и рекреационные качества среды. К данному виду загрязнения относятся и засорение околокосмического пространства. По современным данным, в ближнем космосе уже находится более 3000 т космического мусора.

Проблема механического загрязнения окружающей среды, и в первую очередь отходами, крайне остро стоит перед всем мировым сообществом. Жизнедеятельность городов и сельскохозяйственных поселений порождает груды мусора, жидких стоков, аэрозолей, которые буквально превратили все структурные уровни биосферы в колоссальную свалку. Ежегодно в мире образуется до 1,0–1,5 млрд т вредных производственных и 400–450 млн т коммунальных отходов (КО). На каждого жителя Земли приходится в среднем за год 0,12 т отходов потребления, 1,2 т всех продуктов производства, т.е. «отложенных» отходов, и около 14 т отходов переработки сырья.

Если до 7% промышленных отходов в развитых странах поступает на вторичное использование, то коммунальные отходы и их переработка представляют в настоящее время трудноразрешимую проблему. Ежегодный мировой прирост КО составляет порядка 3%, а в некоторых странах он достигает 10%.

Мировой опыт показывает, что для захоронения 1 т КО требуется порядка 3 м<sup>2</sup> площади, поэтому свалки занимают во всем мире сотни тысяч гектаров земель, практически выведенных из сельскохозяйственного оборота. Известно, что для захоронения КО ежегодно требуются все большие площади земель, например при высоте складирования отходов 10 м для городов с населением до 350 тыс. человек необходимо 5 га земель; с населением 350–700 тыс. – 10 га; с населением 700 тыс. – 1 млн – 13,5 га; с населением более 1,1 млн человек – более 18 га земель.

**Химическое загрязнение.** Этот вид загрязнения формируется в результате изменения естественных химических свойств окружающей среды при поступлении не свойственных ей реакционноспособных химических веществ в концентрациях, превышающих фоновые. По определению ООН, химическими загрязнениями (поллютантами) считаются все вещества и соединения, обнаруженные в ненадлежащем месте, в ненадлежащее время и в ненадлежащем количестве.

Наиболее массовыми химическими загрязнителями являются оксиды углерода, серы и азота, углеводороды, соли кислот и щелочей, соединения серы, фтора, фосфора, фенолы и др. По характеру своего воздействия на здоровье людей такие загрязнители подразделяются на следующие группы: токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

В настоящее время известно более 3 млн химических соединений, ежегодно синтезируется более 100 000 новых веществ, в результате этого человечество находится под угрозой воздействия 40–50 тыс. химических соединений разных классов, не свойственных естественным условиям окружающей среды.

Интересно, что и сами люди являются источниками выделения в воздух более 20 загрязняющих веществ – *антропо-токсинов* (углекислого газа, аммиака, кетонов, сероводорода и др.). В небольших, плохо вентилируемых помещениях (школьных классах, аудиториях, кабинетах и др.) при большом скоплении людей содержание антропоксинов может достигать уровней, допустимых лишь для производственных зданий. Вероятность образования высоких концентраций загрязняющих веществ в воздухе помещений привела к появлению понятия «синдром больных зданий».

Близким по природе к химическому является *осмофорное загрязнение*. Оно осуществляется пахучими веществами (одорантами) в таких низких концентрациях, которые не могут оказывать химического резорбтивного воздействия на человека, но могут вызывать рефлекторные реакции организма.

При больших концентрациях одорантов их необходимо рассматривать как химические загрязнители. Реакция организма на осмофорное загрязнение проявляется в ощущении запаха, изменении биоэлектрической активности мозга, световой чувствительности и т.д. Запах – наиболее воспринимаемая форма загрязнения окружающей среды, обнаруживаемая нами с помощью обоняния. Около 50% всех жалоб населения на загрязнение воздуха связано с ощущением неприятных или тяжелых запахов.

Первичной реакцией человека на неприятный запах является ощущение неудобства, беспокойства; вторичные эффекты, связанные с воздействием высоких концентраций одоранта, проявляются в виде рвоты, нарушения сна, учащения пульса, повышения артериального давления, болезненных ощущений со стороны основных органов. Кроме того, влияние неприятных запахов может выражаться в головной боли, состоянии усталости, повышенной сонливости или, наоборот, возбуждении, слюнотечении и пр. Поэтому понятие «неприятный запах» приобретает определенный санитарно-гигиенический смысл. Около 20% химических веществ обладает неприятным запахом, а количество веществ, распознаваемых по запаху, близко к 100 тыс.

**Биологическое загрязнение.** Такое загрязнение вызывают нехарактерные для данной экосистемы живые организмы и продукты их жизнедеятельности, которые ухудшают условия существования естественных биотических сообществ, а также негативно влияют на здоровье человека и результаты его хозяйственной деятельности.

В настоящее время в связи с массовой урбанизацией, значительным увеличением плотности населения в городах, интенсивным развитием фармацевтической, пищевой и особенно микробиологической промышленности все большую роль в загрязнении биосферы играют биологически активные вещества. Основными факторами неблагоприятного воздействия на окружающую среду являются живые и мертвые клетки микроорганизмов (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие) и продукты их метаболизма. Отрицательное действие их заключается в возникновении и развитии различных аллергических реакций и инфекционных заболеваний. Чаще всего возникают такие заболевания, как аспергиллезы, кандидозы и микозы. Они наиболее опасны для лиц с пониженной сопротивляемостью организма.

Одним из ярких примеров заболеваний, которые могут возникать в «больных зданиях», является так называемая *болезнь легионеров*. Впервые она была описана в 1976 г. в Филадельфии, когда после очередного конгресса организации «Американский легион» из 4400 его участников 221 человек заболел неизвестной гриппоподобной болезнью, причем 34 из них умерли. Это новое заболевание и получило название «болезни легионеров». Она характеризуется развитием пневмонии, интоксикацией, лихорадкой, а также поражением центральной нервной системы (ЦНС), желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и почек. Возбудителями болезни являются микроорганизмы – легионеллы, которые сохраняют жизнеспособность при температуре от +4 до +65 °С. С воздухом или загрязненной водой легионеллы попадают в системы кондиционирования воздуха, где и находят благоприятную среду для своего размножения и распространения. Воздух от систем кондиционирования, зараженный легионеллами, поступает в помещения и приводит к массовым заболеваниям находящихся там людей.

Источниками биологического загрязнения также могут быть сооружения биохимической очистки сточных вод предприятий и городов, больницы, поликлиники, свалки коммунальных и промышленных отходов, свиноводческие хозяйства, фермы крупного рогатого скота, птицефабрики и т.д.

Адсорбированные на частичках аэрозолей микроорганизмы могут распространяться на большие расстояния. Исследования показывают, что жизнеспособные клетки микроорганизмов в ряде случаев поднимаются на высоту 3000 м. Известны случаи биологического загрязнения окружающей среды, приведшие к массовым желудочно-кишечным заболеваниям (сальмонеллезу, гепатиту), внутрибольничным стойким инфекциям. Достоверно доказано, что заболевания детей, проживающих вблизи заводов по производству антибиотиков, в 1,5–3 раза выше средней заболеваемости для данного населенного пункта.

Особенностью многих жилых помещений является высокий уровень биологического загрязнения, что приводит к аллергизации проживающих в них людей. В домашней пыли содержатся микроскопические сапрофитные клещи, выделения которых и являются причиной аллергизации человека. Клещи могут жить в постельных принадлежностях, коврах, мягкой мебели, одежде.

В домашней пыли присутствуют также эпидермальные аллергены из шерсти, перхоти и слюны кошек, собак и других домашних животных, пера и экскрементов птиц (голубей, попугаев, канареек и пр.). Высокой сенсибилизирующей активностью обладают хитиновый покров и экскременты тараканов, эпидермис низших рачков дафний, используемых в качестве сухого корма для рыбок.

Домашняя пыль является сорбентом и накопителем спор различных плесневых грибов, которые также являются активными аллергенами и приводят к снижению иммунитета организма, бронхиальной астме, аллергическому альвеолиту и другим заболеваниям.

В отдельную группу следует отнести *лекарственные загрязнения*. Некоторые лекарственные препараты оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека даже в терапевтических дозах. Например, такие препараты, как амидопирин, фенацетин, запрещены к производству, так как являются выраженными канцерогенами. Антибиотики тетрациклинового ряда обладают ототоксическим эффектом. При неправильном подборе дозы они, поражая слуховой нерв, вызывают глухоту у новорожденных. Кроме того, многие антибиотики нарушают биоценоз кишечника и других внутренних сред организма, вызывая дисбактериозы и кандидозы.



**Физические виды загрязнения.** Такими видами загрязнения окружающей среды являются радиоактивное, акустическое, вибрационное, электромагнитное, тепловое и световое загрязнения.

*Радиоактивное загрязнение* – это физическое загрязнение, связанное с повышением естественного радиоактивного фона и уровня содержания в среде радиоактивных элементов и веществ. При наличии радиоактивных веществ оно может рассматриваться и как химическое загрязнение. Основными источниками радиоактивного загрязнения среды являются испытания ядерного оружия, атомные реакторы и установки, предприятия атомной промышленности, технологические, медицинские, научные приборы и оборудование, зола, шлаки и отвалы, содержащие радиоактивные вещества, могильники радиоактивных отходов и т.д.

Активное повышение концентрации радиоактивных веществ в окружающей среде началось приблизительно с 1933 г. – года начала планомерных работ по исследованию радиоактивных элементов.

При поглощении ионизирующего излучения радиоактивных веществ в организме наблюдаются разнообразные морфологические и функциональные нарушения, приводящие к развитию острой или хронической формы лучевой болезни, злокачественных новообразований, заболеваниям крови и генетическим изменениям. Кроме того, радиация усиливает воздействие на организм человека таких химических загрязнителей, как углеводороды, оксид углерода и др.

Естественное фоновое облучение создается космическим излучением и естественными радиоактивными веществами, содержащимися в объектах окружающей среды. При этом неустойчивые ядра атомов (нуклиды) самопроизвольно распадаются с образованием атомов других элементов и выделением энергии. Радиоактивные превращения свойственны только отдельным веществам, которые содержат радионуклиды. Распад естественных радионуклидов группы тория, урана, актиния и других сопровождается испусканием особого вида излучения, называемого *радиоактивным*, которое может быть корпускулярным и квантовым. Корпускулярное излучение представляет собой поток  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц и нейтронов, а квантовое –  $\gamma$ -квантов и рентгеновского излучения.

С ионизирующими излучениями население в любом месте земного шара встречается ежедневно. Это, прежде всего, радиоактивный фон Земли, который складывается из трех компонентов:

- космического излучения (вклад в среднюю годовую дозу облучения человека 15,1%);
- излучения от естественных радиоактивных элементов, содержащихся в почве, строительных материалах, воздухе и воде (68,8%);
- излучения от природных радиоактивных веществ, которые с пищей и водой попадают внутрь организма, фиксируются тканями и сохраняются в теле человека в течение всей его жизни (15,1%);
- другие источники (1%).

Средняя суммарная годовая доза облучения населения от природных источников составляет примерно 2 мЗв (миллизиверт), что в основном связано с поступлением радона и трития из грунтов, строительных материалов, воды, природного газа, воздуха. Кроме того, человек встречается с источниками искусственного излучения, включая радионуклиды, широко применяемые в хозяйственной деятельности.

При дозах облучения порядка 0,1 мЗв не наблюдается каких-либо патологических изменений в органах и тканях организма человека. Доза 0,1 Зв определяет допустимое разовое аварийное облучение населения, 0,05 Зв – допустимое облучение медицинского персонала и работников атомных электростанций (АЭС) в нормальных условиях эксплуатации за год, 0,25 Зв – разовое допустимое облучение персонала, работающего с радиоактивными агентами. Доза облучения 1 Зв определяет нижний уровень развития лучевой болезни; 4,5 Зв – неизбежно вызывает тяжелую (летальную) степень лучевой болезни. В настоящее время считается, что общей пожизненной дозой облучения населения на территории Беларуси является 0,35 Зв. Сюда входят все дозы облучения, полученные человеком в течение всей жизни. Например, ежедневный в течение года просмотр всех телепередач обеспечивает дозу 0,01 мЗв; перелет самолетом на расстояние 2400 км – 0,02–0,05 мЗв; одна процедура флюорографии – 3,7 мЗв; рентгеноскопия зуба – 0,03 Зв; рентгеноскопия желудка (местная) – 0,336 мЗв.

*Акустическое (шумовое) загрязнение* характеризуется превышением уровня естественного шумового фона. Шум – одна из форм физического (волнового) загрязнения окружающей

среды, адаптация организмов к которому практически невозможна. Наиболее мощными и распространенными источниками шума, особенно в городах, являются автомобильный и рельсовый транспорт, промышленные предприятия, авиация, бытовая техника (холодильники, магнитофоны, радиоприемники и т.д.). На долю транспорта приходится 60–80% всех шумов, проникающих в места пребывания людей. Известно, что в городах уровень шума повышается примерно на 1 дБА в год и за последние 10 лет возрос в мировом масштабе на 10–12 дБА.

Шум является общебиологическим раздражителем и при определенных условиях влияет на все органы и системы. Прежде всего шум влияет на ЦНС, вызывая у человека чувство нервного напряжения, беспокойства и раздражения, появление невротических состояний в 30% случаев, головной боли – в 80% случаев. В результате длительного воздействия повышенных уровней шума развиваются сердечно-сосудистые заболевания, прежде всего сосудистая дистония. Гастрит, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, другие хронические заболевания ЖКТ также характерны для лиц, длительное время находящихся в шумной обстановке. Существует достоверная связь между воздействием шума и нарушением обменных процессов в организме, понижением остроты слуха и зрения. В той или иной степени шум оказывает влияние на кору надпочечников, гипофиз, щитовидную железу, половые железы. Шум способствует повышению общей заболеваемости на 10–12%. По мнению ученых, воздействие шума сокращает продолжительность жизни человека в больших городах на 8–12 лет.

Согласно данным французских медиков, один из пяти пациентов психиатрических больниц лишился рассудка из-за шума. Статистические данные свидетельствуют о росте количества людей, страдающих тугоухостью. Если в сельской местности на 100 тыс. человек приходится 20–30 тугоухих, то в городах – 100–120 человек. Утверждается, что болезни шума в XXI в., если не принимать кардинальных мер, могут стать социальным бедствием.

Шум обладает кумулятивным эффектом, т.е. акустическое раздражение, накапливаясь в организме, все сильнее угнетает нервную систему. Несмотря на кажущуюся привычку к шуму, полная физиолого-биохимическая адаптация человека к шуму невозможна. Это означает, что шум совершает свое разрушительное действие, даже если человек к нему привык и как бы его не замечает.

Неслышимые звуки также могут оказывать вредное воздействие на организм человека. Инфразвуки, способные проникать в помещения даже сквозь самые толстые стены, способны влиять на психическую сферу человека, при этом затрудняются все виды интеллектуальной деятельности, ухудшается настроение, появляется ощущение ужаса, растерянности, тревоги, страха. Считается, что именно инфразвуками вызываются многие нервные заболевания жителей городов.

Исследованиями доказано воздействие шума и на растительные организмы. Растения близ аэродромов, с которых непрерывно стартуют реактивные самолеты, испытывают угнетение роста и даже отмечается исчезновение отдельных видов.

В целом ряде научных работ показано угнетающее действие шума (около 100 дБ с частотой звука от 31,5 до 90 тыс. Гц) на растения табака, где обнаруживали снижение интенсивности роста листьев, в первую очередь у молодых растений. Привлекает внимание ученых и действие ритмических звуков на растения. Исследования по изучению действия музыки на растения (кукурузу, тыкву, петунию, цинию, календулу), проведенные в 1969 г. американским музыкантом и певицей Д. Ретолэк, показали, что на музыку Баха и индийские музыкальные мелодии растения отзывались положительно. Их габитус, сухой вес биомассы были наибольшими по сравнению с контролем. И, что самое удивительное, их стебли тянулись к источнику этих звуков. В то же время на рок-музыку и непрерывные барабанные ритмы зеленые растения отвечали уменьшением размеров листьев и корней, снижением массы, и все они отклонялись от источника звука, как будто бы хотели уйти от губительного действия музыки.

Растения, подобно людям, на музыку реагируют как целостный живой организм. Их чувствительными «нервными» проводниками, по мнению ряда ученых, являются флоэмные пучки, меристема и возбудимые клетки. Они расположены в разных частях растения и связаны между собой биоэлектрическими процессами. Вероятно, этот факт – одна из причин сходства реакции на музыку у растений, животных и человека.

*Вибрационное загрязнение* – один из видов физического загрязнения, связанного с воздействием механических колебаний твердых тел на объекты окружающей среды. Это воздействие может быть местным (колебания от ручных инструментов и оборудования, передаваемые к отдельным частям тела) и общим (колебания, передаваемые всему организму в

целом). Наиболее опасная частота общей вибрации лежит в диапазоне 6–8 Гц, поскольку она совпадает с собственной частотой колебаний внутренних органов человека, в результате сложения этих колебаний могут возникать явления резонанса с нарушением работы органов или даже их разрушением.

На рис. 5.1 представлена модель человека, состоящая из сосредоточенных масс, упругих связей (пружин) и диссипативных потерь, представленных на схеме демпферами. Резонансные явления могут происходить с различными частями тела человека при разных частотах. При вертикальной вибрации резонанс органов брюшной полости наблюдается при частотах 48 Гц, головы – 25 Гц, при более высоких частотах 30–80 Гц происходит резонанс глазного яблока. Например, в первых полетах американских космонавтов при вибрации с частотой 50 Гц они не могли считывать показания приборов вследствие резонансной вибрации глаз.

Субъективное ощущение человеком вибрации зависит от возраста, общего состояния организма, тренированности, индивидуальной переносимости, эмоциональной устойчивости,

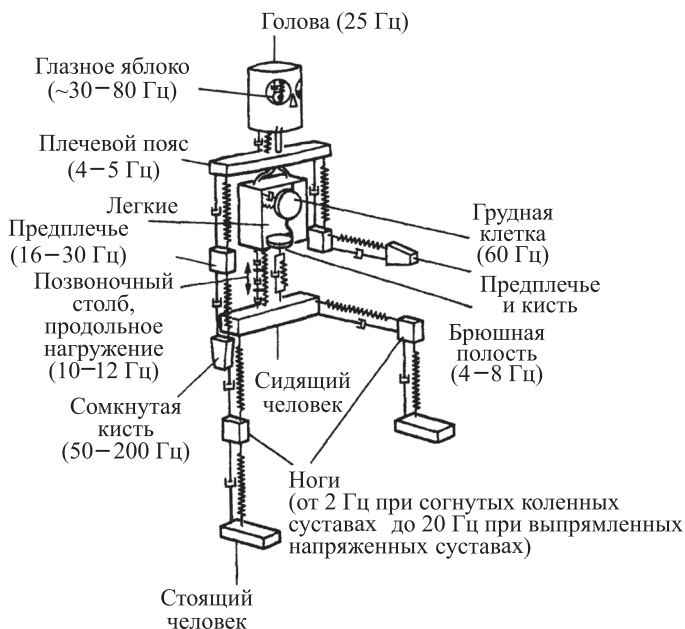


Рис. 5.1. Резонансная модель систем и некоторых органов человека

нервно-психического статуса, а также от характеристик вибрации (виброскорости, виброускорения, вибросмещения, частоты и амплитуды).

Вибрация вызывает изменение частоты пульса и артериального давления, оказывает влияние на эндокринную систему, вызывает нарушение различных обменных процессов, функций вестибулярного и зрительного аппарата.

Воздействие вибрации на организм человека зависит от амплитуды и частоты колебаний (табл. 5.2).

*Таблица 5.2. Характеристика воздействия вибрации на организм человека*

Амплитуда колебаний, мм	Частота, Гц	Результат воздействия
≤ 0,015	Различная	Не оказывает существенного влияния
0,016–0,050	40–50	Нервное возбуждение с депрессией
0,051–0,100	40–50	Изменение в ЦНС, сердце и органах слуха
0,101–0,300	50–150	Возможно общее заболевание
0,101–0,300	150–250	Виброблезнь

Наибольшее количество жалоб на неприятные ощущения и болезненные состояния при вибрационном воздействии предъявляют лица в возрасте от 31 до 40 лет (65,5% от числа обратившихся во врачебные учреждения), что указывает на наличие повышенной виброчувствительности этой возрастной категории населения.

*Электромагнитное загрязнение* также относится к физическим формам загрязнения окружающей среды и происходит в результате изменения ее электромагнитных свойств, приводящих к глобальным и местным геофизическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах живых организмов.

Электромагнитный фон планеты определяется в основном электрическими и магнитными полями Земли, атмосферным электричеством, радиоизлучением Солнца и Галактики, а также накладкой на естественный фон полей от искусственных источников (линии электропередачи, радио и телевидение, промышленные высоко- и сверхвысокочастотные установки, антенные поля, системы наземной и спутниковой связи, радиолокации, телеметрии и радионавигации, другие источники). Напряженность электромагнитного поля Земли изменяется в зависимости от расстояния до поверхности планеты: на высоте 0 км она составляет 130 В/м; 0,5 км – 50 и 12 км – 2,5 В/м.

В процессе эволюционного развития все живые организмы на Земле приспособились к определенным природным электромагнитным полям и вынуждены были выработать по отношению к ним не только защитные механизмы, но в той или иной степени включить их в свою жизнедеятельность. Поэтому изменение параметров *электромагнитного поля* (ЭМП) по отношению к естественному может вызвать у живых существ микроорганические сдвиги, которые в ряде случаев перерастают в патологические.

Энергия, поглощенная единицей массы за единицу времени, служит основой дозиметрической оценки – так называемая *удельная поглощенная мощность* (SAR), измеряемая в ваттах на килограмм. Если длина волны соизмерима с размерами облучаемого биологического объекта или отдельных его органов, то наблюдаются явления резонанса и стоячих волн, что приводит к росту электромагнитного поглощения.

Биологический эффект электромагнитного облучения зависит от частоты, продолжительности и интенсивности воздействия, площади облучаемой поверхности, общего состояния здоровья человека и пр. Кроме того, на развитие патологических реакций организма влияют:

- режимы генерации ЭМП, в том числе амплитудная и угловая модуляции;
- факторы внешней среды (температура, влажность, повышенный уровень шума, рентгеновское излучение и др.);
- некоторые другие параметры (возраст человека, образ жизни, состояние здоровья и пр.);
- область тела, подвергаемая облучению.

Наиболее чувствительны к воздействию ЭМП люди с ослабленным здоровьем, в частности страдающие аллергическими заболеваниями или имеющие склонность к образованию опухолей. Весьма опасно электромагнитное облучение в период эмбриогенеза и в детском возрасте.

По мере увеличения поглощенной энергии (или плотности потока энергии воздействующего ЭМП выше 10 мВт/см<sup>2</sup>) нарушаются защитные механизмы, регулирующие температуру (*термогенный эффект*), что приводит к неконтролируемому повышению температуры тела. В этом случае наиболее уязвимы ткани с плохой циркуляцией крови и терморегуляцией (хрусталик глаза, семенные железы, желчный пузырь, участки ЖКТ). При этом появляются головные боли, раздражительность, сонливость, ослабление памяти и хронич-



ческие поражения (у мужчин снижение тестостерона в крови, импотенция, у женщин – токсикозы беременности, патология родов).

Электромагнитные поля радиочастотного диапазона могут вызывать в организме человека изменения со стороны нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. Биологическое действие ЭМП радиочастот зависит от частоты колебания волны. С повышением частоты, т.е. уменьшением длины волны, биологическое действие ЭМП становится более выраженным. ЭМП длинных волн отличаются менее интенсивным воздействием на организм, чем коротких и ультракоротких.

Психоневрологические симптомы выражаются постоянной головной болью, повышенной утомляемостью, ослаблением памяти, побледнением кожных покровов, анемией и обморочными состояниями. Еще в 1986 г. суд американского штата Техас обязал электрическую компанию г. Хьюстона выплатить 25 млн дол. в качестве возмещения за ущерб, причиненный частной школе. На основании научных данных суд сделал вывод: высоковольтная линия электропередачи, проходящая над территорией школы, создавала угрозу здоровью детей, и потребовал ее переноса вместе с возмещением ущерба здоровью детей.

Напряженность ЭМП вблизи линий электропередачи напряжением 500 кВ составляет 7,6–8,0 кВ/м, 750 кВ – 10–15 кВ/м. Неблагоприятные воздействия на организм могут проявляться уже при напряжении 1000 В/м. При длительном воздействии СВЧ-излучений отмечаются изменения в формуле крови, помутнение хрусталика глаза (катаральные явления), трофические изменения (выпадение волос, ломкость ногтей, возрастание злокачественных новообразований, потеря массы тела и пр.).

В настоящее время существенное значение приобрело *тепловое загрязнение* окружающей среды, основными источниками которого являются урбанизированные территории, энергетические и промышленные предприятия, коммунальное хозяйство, транспорт и др. Выделение в окружающую среду техногенной теплоты составляет приблизительно 0,01–0,02% от количества теплоты, получаемой Землей от Солнца.

Тепловое загрязнение является формой физического загрязнения окружающей среды и характеризуется периодическим или длительным повышением температуры среды выше естественного уровня.



Тепловое загрязнение окружающей среды может быть глобальным (см. далее – п. 6.2), региональным и локальным.

Региональное тепловое загрязнение характерно для крупных городов (мегаполисов), территориально-промышленных комплексов, водных акваторий и пр.

Наиболее ярким примером локального теплового загрязнения атмосферы является тепловое загрязнение городов, где зимой температура в центре города на 3–4 °С выше, чем на его окраине. Формирование теплового купола так называемых тепловой шапки или острова теплоты над городом или промышленным районом связано с накоплением солнечной теплоты теплоемкими зданиями, сооружениями, дорогами, водоемами и другими объектами в дневное время, а также с теплоотдачей в окружающую среду техногенных тепловых источников – предприятий энергетики, промышленности и др. В отличие от растительности, которая усваивает солнечную энергию на 95%, превращая ее путем фотосинтеза в биомассу, накопленная и генерированная теплота техногенных источников накапливается в нижних слоях атмосферы, образуя своеобразную тепловую шапку (рис. 5.2).

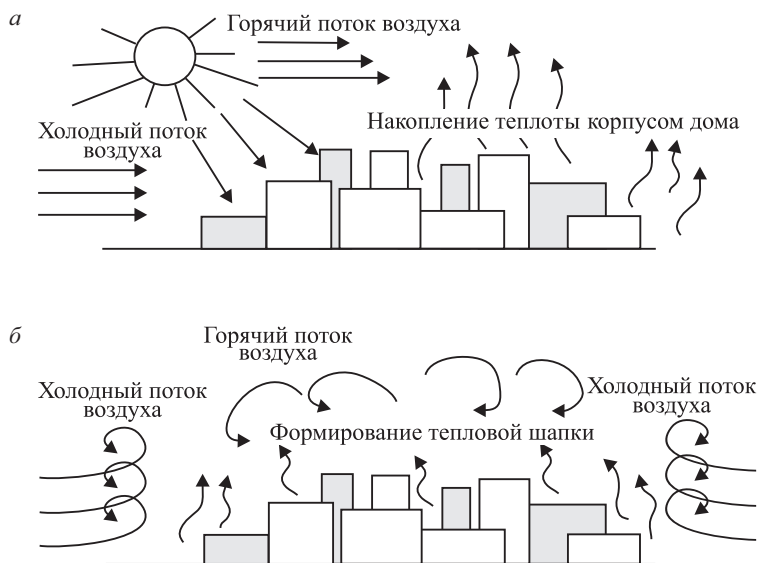


Рис. 5.2. Схема формирования над городом тепловой шапки или острова теплоты (а, б)

Имеются данные, что тепловая шапка Москвы образуется на высоте от 100 до 300 м и рассеивается лишь при скоростях ветра более 7–9 м/с. Восходящие потоки воздуха над крупными городами в целом способствуют его самоочищению от промышленных и транспортных загрязнений. В небольших городах выбросы, напротив, стелются над землей. Съемка земной поверхности со спутников Земли в инфракрасных лучах показывает, что влияние повышенной температуры городских территорий распространяется на прилегающие районы, т.е. вырисовываются своего рода шлейфы.

В связи с аэрозольным и тепловым загрязнением в городах уменьшается *альbedo* подстилающей поверхности (отношение отраженной радиации к суммарной), снижается расход теплоты на испарение влаги за счет сокращения территорий с открытым почвенным покровом, занятым зелеными насаждениями, изменяется ветровой режим. Городская застройка приводит к формированию зон застоя воздуха, что приводит к его перегреву, в городе изменяется прозрачность воздуха из-за увеличенного содержания в нем примесей от промышленных предприятий и транспорта. Под влиянием городской застройки изменяется количество выпадающих осадков. На территории города в теплое время наблюдается снижение значений абсолютной влажности воздуха и увеличение ее в холодное время (в черте города влажность выше, чем за городом).

Локальное тепловое загрязнение характерно также для крупных водоемов, куда сбрасываются охлаждающие воды тепловых электростанций, крупных предприятий, станций очистки сточных вод городов, что может приводить к серьезным изменениям в биосфере. Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6–8 °С. Площадь пятен нагретых вод в прибрежных районах может достигать 30 км<sup>2</sup>.

К последствиям теплового загрязнения естественных водоемов относятся:

- усиление восприимчивости организмов к токсичным веществам;
- возможное превышение критических величин для степотермных стадий жизненных циклов водных организмов;
- бурное размножение сине-зеленых водорослей, болезнетворных микроорганизмов и вирусов;
- затруднение водообмена между поверхностным и донным слоями;

- снижение растворимости кислорода в воде, ускорение химических реакций, что влияет на жизнь животных и растений в водоприемных бассейнах.

Повышение температуры в водоемах, как правило, негативно влияет на жизнь водных организмов. *Тепловой шок* – это крайний результат теплового загрязнения. Поскольку температура тела холоднокровных организмов регулируется температурой окружающей водной среды, повышение температуры воды усиливает скорость обмена веществ у рыб и водных беспозвоночных. В летнее время повышение температуры воды всего на несколько градусов может вызвать 100%-ную гибель рыб и беспозвоночных. Искусственный подогрев воды может существенно изменить и поведение рыб – вызвать несвоевременный нерест, нарушить миграцию.

Ущерб, образовавшийся в результате теплового загрязнения, может быть экономическим (потери от снижения продуктивности водоемов, затраты на ликвидацию последствий); социальным (эстетический ущерб от деградации ландшафтов) и экологическим (необратимые разрушения уникальных экосистем, исчезновение видов).

*Световое загрязнение* – это форма физического загрязнения, связанная с периодическим или продолжительным превышением уровня освещенности местности за счет использования источников искусственного света.

Основным источником световой энергии на Земле является Солнце, суммарная радиация которого в средних широтах составляет  $4,6 \text{ кДж/см}^2$  в сутки. Приходящая на земную поверхность солнечная радиация создает для ее обитателей определенный световой режим, составляющим которого является прямой и рассеянный свет. Соотношение между ними закономерно изменяется в зависимости от географической широты местности. В полярных районах преобладает рассеянная радиация, составляющая около 70% лучистого потока, а в экваториальных областях она не превышает 30%. Это обусловлено большей проходимостью лучей прямой радиации через более тонкий слой атмосферы.

Экологически значимыми являются следующие параметры света: продолжительность воздействия (долгота дня), интенсивность (в энергетических единицах), качественный состав лучистого потока (спектральный состав). Все живые организмы тонко реагируют на изменение длительности светового воздействия, они способны ощущать совершенно не-

значительные изменения соотношения светового и темного периодов суток. Эта способность организмов реализована в таком общебиологическом явлении, как *фотопериодизм*, который связан с феноменом биологических часов, образуя легкоприспособляемый механизм регулирования функций организма во времени. Фотопериодизм проявляется в разделении живых существ на две большие группы по времени активности – на дневных и ночных; организмы длинного и короткого дня. Продолжительность светового дня влияет на продолжительность менопаузы для насекомых; сезонность у растений и динамику их роста; развитие зимнего пушного покрова у зверей; цикличность половой активности, плодовитость, миграцию и т.д.

Интенсивность света управляет всей биосферой, влияя на первичное продуцирование органического вещества организмами-продуцентами. Качественные показатели света в экологическом отношении весьма существенны. В зависимости от высоты Солнца над горизонтом прямая радиация содержит от 28 до 43% ФАР. Значительно больше ее в рассеянном свете, где ФАР достигает 50–60% при облачном небе и 90% – при безоблачном, главным образом за счет увеличения доли синевioletовых лучей, рассеиваемых атмосферой. В целом примерно половина солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, приходится на ФАР в диапазоне волн 0,38–0,72 мкм. Другая ее половина не поглощается и не ассимилируется в процессе фотосинтеза.

Спектральная область поглощения солнечной радиации зелеными листьями и другими живыми организмами включает ультрафиолетовые, видимые и инфракрасные лучи. Видимый участок спектра обусловил появление у животных и растений ряда важных приспособлений. У зеленых растений сформировался светопоглощающий комплекс, с помощью которого осуществляется процесс фотосинтеза, возникла яркая окраска цветков; у животных появилось цветовое зрение, окраска покровов и отдельных частей тела.

Световой фактор четко определяет морфологические, физиологические и другие признаки живых организмов, вертикальные и суточные миграции, их поведенческие реакции.

Ультрафиолетовые лучи практически полностью поглощаются первыми слоями клеток покровных тканей и способствуют синтезу в организме витамина D. Однако длительное и мощное воздействие больших доз ультрафиолетового

излучения может вызывать разрушение покровных клеток, индуцировать повышенное образование пигмента меланина и способствовать развитию злокачественных новообразований.

Инфракрасные, или тепловые, лучи несут основное количество тепловой энергии. Нагревание организма происходит в основном за счет поглощения тепловой энергии водой, количество которой в живом организме достаточно велико.

Загрязнение атмосферы выбросами промышленности и автотранспорта привело к значительному изменению интенсивности светового потока, а уничтожение озонового слоя в результате необратимых химических реакций в атмосфере – к интенсификации ультрафиолетового излучения. Эти явления вызывают глобальные нарушения на всех уровнях биосферы (более подробно будет рассмотрено в соответствующих главах).

**Визуальное загрязнение (видеозагрязнение).** Глаз человека как орган зрения является основным источником информации об окружающей нас среде, посредством этого сенсорного канала человек получает до 90% информации об окружающем его мире. Исторически у человека сформировалась потребность в разнообразии зрительных восприятий в естественной среде. Психологи давно обнаружили, что при недостатке информации для органов чувств возникает «сенсорный голод». Прямым подтверждением этому является то, что в городах намного больше (в 1,5–2 раза) близоруких людей, чем в сельской местности, в которой господствует многообразная природная среда.

Видеозагрязнение охватывает визуальную среду человека – плоскую однообразную архитектуру, ландшафты, движущуюся рекламу, витрины, состояние улиц, цветовую гамму зданий, чрезмерную долю однородных агрессивных полей (голые стены, монолитное стекло, глухие заборы, асфальтовые покрытия, гладкие крыши домов, одинаковые и равномерно размещенные на поверхности элементы – окна на стене дома, плитки на тротуаре или стене, гофрированные поверхности и др.). Визуальная информация от таких объектов раздражает и перегружает мозг человека, агрессивное визуальное поле не дает человеку сориентироваться в пространстве, возникает чувство дискомфорта, связанное с перегрузкой мозга информацией, либо мозг испытывает сенсорный голод (отсутствие деталей, концентрирующих внимание человека). Видеозагряз-

нение может быть причиной появления у человека расстройств психики, органов зрения, приводит к раздражительности и даже агрессивности. Это явление исследовано В.А. Филиным (1990), который разработал особый раздел городской экологии – *видеоэкологии*.

Несмотря на то что видеозагрязнение по степени воздействия и уровню последствий уступает предыдущим видам загрязнения, его необходимо учитывать при комплексной оценке воздействий на условия проживания населения в городе.

**Генетическое загрязнение.** В настоящее время поднимается вопрос об опасности генетического загрязнения окружающей среды. Риск этого вида, связанного с генной инженерией, становится все более реальным. Высказываются опасения, что искусственно созданные микроорганизмы, попав во внешнюю среду, могут вызывать нарушения равновесия в природных экосистемах, а также эпидемии неизвестных болезней, с которыми людям будет трудно справиться. Кроме того, вследствие манипуляций с генами может происходить *генетическая эрозия* – потеря части генома и замещение генов или их локусов чужеродным генетическим материалом, попадающим с продуктами генной инженерии, полученными, в частности, на основе генома млекопитающих. Наибольшему риску генетического загрязнения подвержены редкие и исчезающие виды, популяции которых находятся на стадии деградации.

Некоторые специалисты утверждают в необходимости введения в классификацию антропогенных воздействий и биоценотическое и ландшафтное загрязнения.

**Биоценотическое загрязнение.** К такому нарушению относят изменение баланса популяции, факторы беспокойства, случайную или направленную интродукцию и акклиматизацию видов, неконтролируемый отлов, отстрел, браконьерство и др. Часто случайно переселенные в новые экосистемы животные или растения могут приносить большой вред сельскому и лесному хозяйству. Так случилось, например, в Европе с американским колорадским жуком, ставшим здесь массовым вредителем пасленовых культур (картофель, томаты и др.). В свою очередь Европа «отплатила» Америке случайным заносом в дубовые леса непарного шелкопряда, который быстро размножился, найдя здесь свою экологическую нишу, и стал опасным вредителем.

**Ландшафтное загрязнение.** Оно связано с вырубкой лесов, зарегулированием водотоков, карьерной и шахтной разработкой ископаемых, дорожным строительством, эрозией почв, осушением земель, лесными и степными пожарами, урбанизацией и прочими факторами.

## 5.2. Информация и информационное загрязнение

На современном этапе развития цивилизации информатизация играет ключевую роль в функционировании общества и в жизни каждого человека. Информатизация ведет к созданию единого мирового информационного пространства, в рамках которого производится накопление, обработка, хранение и обмен информацией между субъектами этого пространства (людьми, организациями, государствами).

Возможности быстрого обмена политической, экономической, научно-технической и другой информацией, применение новых информационных технологий во всех сферах общественной жизни являются несомненным благом. Однако необходимая степень информатизации может быть достигнута только тем обществом, которое обладает высоким научно-техническим и промышленным потенциалом и достаточным культурно-образовательным уровнем.

По мере внедрения информационных технологий в различные сферы общественной жизни возникают серьезные проблемы, связанные с обеспечением исправного функционирования элементов информационной инфраструктуры, сохранности информации и т.д., с которыми уже столкнулись в развитых странах Запада, и в первую очередь в США, обладающих половиной всего мирового информационного ресурса.

Единое информационное пространство требует унификации информационных и телекоммуникационных технологий всех стран – субъектов информационного сообщества. Это дает возможность мощным державам с высоким научно-техническим и промышленным потенциалом, таким как США и Япония, усиливать свое политическое, экономическое и военное превосходство за счет лидерства в информатизации. В принципе возможен глобальный информационный контроль над мировым сообществом, навязывание другим государствам своих правил жизни.

Скорость, с которой современные информационные и телекоммуникационные технологии ворвались в нашу жизнь, позволила говорить о «цифровой революции», которая уже сейчас преобразует социальную и экономическую жизнь. В индустрии коммуникации и информации происходят коренные изменения. Чтобы охватить 50 млн человек, для радио понадобилось 38 лет, а телевидению – 13 лет. Всего лишь за 4 года столько же людей стали использовать интернет.

В 1993 г. в «глобальной паутине» насчитывалось только 50 страниц; сегодня их более 2 млрд. В 1998 г. к интернету было подключено только 143 млн человек, к 2001 г. количество пользователей достигло 700 млн человек, а в настоящее время – более 2 млрд человек. Интернет уже применяется более широко, чем любое из когда-либо применявшихся ранее средств связи.

Объем данных, хранящихся в интернете, составил в 2012 г. более  $2,5 \cdot 10^{21}$  байт и удваивается приблизительно каждые полтора года.

Эксперты предупреждают, что рост числа интернет-данных несет угрозу информационной безопасности. В 2012 г. количество данных, которым требовалась защита от несанкционированного доступа, увеличилась до 45%. В группу риска входят не только объекты государственного и военного характера, но и сведения о банковских счетах и интернет-сделках, юридические документы, объекты интеллектуальной собственности и пр.

В экологическом аспекте *информация* – это энергетически слабое воздействие, закодированное сообщение организму о возможности более мощных влияний на него со стороны других организмов или факторов среды и вызывающее его ответную реакцию. Информация является ключевым компонентом гармоничного развития человека на Земле. Например, обладание информацией о современных технологиях позволяет наладить производство какого-либо продукта с меньшими затратами природных ресурсов, быстрее, лучше и с минимальными финансовыми издержками. Поэтому понятие «информационные ресурсы» (ИР) уже узаконено, но обществом еще полностью не осознано.

Информация – это сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах, а информационные ресурсы представляют собой организованную совокупность документированной информации, включающую базы данных и другие массивы информации в информационных системах.



Сейчас трудно найти такую область знаний, где бы не использовалась информация. Огромные информационные потоки буквально захлестывают людей.

По данным печати, к концу 70-х гг. XX в. деятельность в области сбора, обработки и использования информации достигла 46% валового национального продукта (ВНП) США, и на нее приходилось 53% от общей суммы заработной платы. Индустрия переработки информации достигла глобального уровня.

Информационные ресурсы, так же как и материальные, характеризуются качеством и количеством, имеют себестоимость и цену.

В зависимости от содержания ИР подразделяются:

- на информационно-поисковые и справочные системы (ИПСС), которые могут быть научно-техническими, консультационными и бытовыми;
- мультимедийные системы;
- компьютерные игры;
- изображения (тематические сборники фотографий, рисунков, пиктограмм и т.п.);
- обучающие системы;
- аудио (музыкальные произведения, песни и т.п.);
- видео (кино и видеофильмы, клипы и т.д.);
- презентации и др.

Количество информации определяется по-разному, это может быть количество машинописных листов, количество занимаемых на носителе или переданных по каналу связи бит и т.д. Количество информации, полученное человеком, определяется степенью изменения его знаний об изучаемом предмете, а качество ее – полезностью обретенных знаний. Получение информации – это сложный, трудоемкий и дорогостоящий процесс, а ценность информации определяется приносимыми доходами.

Особое место отводится ИР в условиях рыночной экономики. В конкурентной борьбе широко распространены разнообразные действия, направленные на получение конфиденциальной информации самыми разными способами, вплоть до прямого промышленного шпионажа с использованием современных технических средств разведки. На сегодняшний день примерно 47% охраняемых сведений добывается с их применением, а утеря лишь 20% имеющейся коммерческой информации приводит в 60% случаев к банкротству фирм.

В истории развития цивилизации произошло несколько информационно-технологических революций – преобразований общественных отношений вследствие кардинальных изменений в сфере обработки информации. Следствием подобных преобразований являлось приобретение человечеством нового качества.

*Первая революция* связана с изобретением письменности, что привело к гигантскому качественному и количественному скачку. Появилась возможность передачи знаний от поколения к поколению.

*Вторая революция* (середина XVI в.) вызвана изобретением книгопечатания, которое радикально изменило индустриальное общество и его культуру.

*Третья революция* (конец XIX в.) обусловлена изобретением электричества, благодаря которому появились телеграф, телефон, радио, позволяющие оперативно накапливать и передавать информацию в любом объеме.

*Четвертая революция* (70-е гг. XX в.) связана с изобретением микропроцессорной технологии и появлением персонального компьютера. На микропроцессорах и интегральных схемах создаются компьютеры, компьютерные сети, системы передачи данных (информационные коммуникации). Этот период характеризуется тремя фундаментальными инновациями:

- переход от механических и электрических средств преобразования информации к электронным;
- миниатюризация всех узлов, устройств, приборов, машин;
- создание программно-управляемых устройств и процессов.

Сегодня человечество переживает *пятую информационную революцию*, связанную с формированием и развитием трансграничных глобальных информационно-телекоммуникационных сетей, охватывающих все страны и континенты, проникающих в каждый дом и воздействующих одновременно на каждого человека в отдельности и на огромные массы людей.

Члены современного информационного общества постоянно подвергаются воздействию лавины информации. Продолжающийся растущий перечень современных средств общения (электронная почта, социальные сети, межличностные коммуникационные технологии и др.), которые начались с распространения программного продукта Skype, для кого-то изменили порядок работы, для других – целую жизнь. Все беды и катастрофы мира мгновенно становятся общеизвестными и обрушиваются на индивидуума.

В информационное поле поступает все большее количество не востребовавшейся, неактуальной, недостоверной или некачественной информации. Однако при существующей сложности относительной оценки ценности информации (для одного человека информация ценна, а для большинства других людей она не представляет никакой ценности) интернет-ресурсы все больше превращаются в информационную свалку, из которой сложно выделить ценную информацию. Поэтому уже в 2003 г. появилось понятие *информационное загрязнение*.

Информационное загрязнение (разнообразные факторы беспокойства, несущие информационную (сигнальную) нагрузку, – электромагнитные поля разных частот и интенсивности, инфра-, ультра- и звуковые колебания, вибрационное и одорологическое воздействие, световое излучение и др.) ощущают не только люди, но и другие биологические виды (в первую очередь животные и растения).

В общем случае информационное загрязнение – это засорение информационных ресурсов ненужными, неподходящими и низкокачественными данными, поступающими человеку по различным информационным каналам. Особенно актуальным информационное загрязнение стало в последнее время.

Этот вид загрязнения может распространяться в разных видах:

- загрязнение электронной информации (спам, сообщения, нежелательный контент веб-сайтов и т.п.);
- печатных и электронных изданий (ненужная реклама, излишние сведения и пр.);
- мобильной связи (нежелательные сообщения, рингтоны, ненужные телефонные звонки и т.д.);
- транспорта и окружающей среды (перегрузка общественного транспорта сообщениями рекламного, развлекательного, информационного характера); большое количество билбордов, лайтбоксов, других видов наружной рекламы;
- другие виды информационного загрязнения.

«Информационное загрязнение – это информационная перегрузка, достигшая критического уровня», – заявляет Джейкоб Нильсен, признанный специалист в области программных продуктов. «В этой точке информация перестает быть тяжким грузом и превращается в препятствие, мешающее человеку выполнять свою работу».

Основными признаками и свойствами информационного загрязнения являются:

- невещественность – невозможно потрогать, понюхать, услышать или увидеть его воздействие на природную среду;
- привыкание – подобно курению, загрязнитель удовлетворяет какую-то естественную потребность, быстро вызывая привыкание;
- неочевидность затрат – растрчивает мировые ресурсы (электроэнергию) в таких незаметно малых количествах на производство единицы загрязнителя, что люди этого не замечают;
- глобальность – касается всех жителей планеты;
- разрушительность – сети, пораженные этим загрязнителем, могут стать причиной выхода из строя систем управления от отдельно взятой организации до систем управления страной, финансовых систем целых государств, систем безопасности, вплоть до объявления информационных войн (кибервойн);
- наличие «отложенных» эффектов – загрязнитель стимулирует появление более открытых, но менее образованных поколений людей, способствует разложению культурных ценностей и моральных ориентиров;
- легальность – источники загрязнения находятся под защитой законов и их устранение запрещено;
- скрытость – загрязнитель очень трудно распознать;
- необратимость – если загрязнитель попал в информационную среду, его распространение очень сложно остановить.

Экономика XXI в. все в возрастающей мере будет основываться на скорости и эффективности добычи и переработки информации, в отличие от экономики XIX и XX вв., основанных, прежде всего, на переработке материальных и энергетических ресурсов. И поэтому снижение затрат на операции с информацией и сокращение объемов ненужной, устаревшей ее части – это уже не область интересов относительно узкой когорты специалистов-компьютерщиков, а всей общности людей. Себестоимость информации становится одним из важнейших экономических факторов, который будет определять развитие глобальной экономики.

На современном этапе основными мерами борьбы с информационным загрязнением являются:

- повышать уровень осведомленности людей об источниках загрязнения, подчеркивая, что этот вид загрязнения по последствиям не отличается от других видов (химического, шумового и т.д.);

- способствовать развитию технологий, способных распознавать и удалять ненужную, бесполезную и несущественную информацию;
- не загромождать компьютеры ненужной, бесполезной, некачественной и недостоверной информацией (это касается каждого члена человеческого общества);
- регулировать количество информации законодательными и экономическими методами.

Распространение информации может контролироваться при наблюдении за ее свойствами, такими как предмет, охват, измерение количества, время, источник, качество (полнота и своевременность) информации.

В настоящее время назрела необходимость в создании инструментов, способных автоматически устранять информационное загрязнение. Для этого, очевидно, следует создать технологию семантической (смысловой) обработки информации на уровне гораздо более глубоком, чем доступные сегодня базальные спам-фильтры.

### 5.3. Источники загрязнения окружающей среды

С экологической точки зрения все продукты техносферы, не вовлекаемые в биотический круговорот, являются загрязнителями, даже те, которые химически инертны. Продукты производства также со временем превращаются в загрязнители, так как рано или поздно становятся отходами потребления.

Под *источником загрязнения* атмосферы понимают объект, от которого загрязняющие вещества поступают в атмосферу.

Источники загрязнения воздуха подразделяются на источники выделения и источники выбросов загрязняющих веществ.

К *источникам выделения* относят объекты, в которых происходит образование загрязняющих веществ (технологические установки, устройства, склады сырья или продукции, аппараты, агрегаты, очистные сооружения, градирни, места хранения отходов и пр.).

*Источники выбросов* загрязняющих веществ в атмосферу подразделяются на стационарные, нестационарные и мобильные.

Стационарные источники выбросов подразделяются на организованные и неорганизованные.

К *организованным* стационарным источникам выбросов относятся источники, оборудованные специальными техническими устройствами (трубы, аэрационные фонари, вентиляционные шахты, дыхательные клапаны резервуаров и др.), предназначенными для локализации поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, задания скорости и направления выхода газовоздушной смеси, отходящей от источника выделения.

Источники выбросов, не оборудованные такими устройствами, относятся к *неорганизованным* стационарным источникам выбросов, которые, в свою очередь, подразделяются:

- на линейные (дороги и улицы, по которым движется транспорт);
- площадные (вентиляционные фонари, окна, двери, неплотности оборудования, зданий, через которые примеси могут поступать в атмосферу, а также сооружения по очистке сточных вод, площадки хранения сыпучих материалов, отвалы горных пород, объекты захоронения отходов, объекты хранения отходов и пр.).

По режиму работы источников выбросы подразделяются на постоянные, периодические и залповые.

Выбросы могут характеризоваться *нестационарностью* – изменением во времени качественных и количественных характеристик, обусловленным особенностями функционирования источника выделения загрязняющих веществ в атмосферу.

К *мобильным* источникам относятся все виды транспортных средств, за исключением приводимых в движение электродвигателями. Они подразделяются на экологические классы в соответствии с СТБ 1848-2009 «Транспорт дорожный. Экологические классы» в зависимости от количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

В зависимости от характера выбросов определены четыре группы промышленных производств:

- с условно чистыми вентиляционными выбросами и концентрацией загрязняющих веществ, не превышающей предельно допустимую концентрацию (ПДК) в рабочей зоне;
- с выбросами неприятнопахнущих веществ;

- с выбросами значительных количеств газов, содержащих нетоксичные или инертные вещества;
- с выбросами токсичных, раздражающих, сенсibiliзирующих, канцерогенных, мутагенных веществ, а также соединений, влияющих на репродуктивную функцию организма.

#### **5.4. Характеристика и показатели опасности вредных веществ**

Загрязняющие вещества в зависимости от химического состава делятся на 28 групп (например, металлы и их соединения, углеводороды предельные, углеводороды непредельные, простые эфиры, органические кислоты, альдегиды, кетоны, пыль и др.). Каждому загрязняющему веществу присвоен код, состоящий из четырех цифр: первые две цифры обозначают номер группы, к которой относится данное вещество, следующие две цифры показывают порядковый номер вещества в данной группе. Например, углеводороды включают четыре группы загрязняющих веществ: предельные, непредельные, ароматические и ароматические полициклические углеводороды.

*Летучие органические соединения* (ЛОС) способны вступать в фотохимические реакции в атмосфере с образованием озона и других окислителей. В группу ЛОС входят многие органические соединения – предельные, непредельные, ароматические и полициклические, галогенпроизводные углеводороды, спирты и фенолы, простые и сложные эфиры, альдегиды, кетоны, органические кислоты, окиси и перекиси, амины, нитросоединения и другие вещества (например, бутан, метан, этан, пропан, стирол, толуол, гексан, пентан, циклогексан, бензол, дихлорэтан, четыреххлористый углерод, спирты, фенолы, эфиры и др.).

В настоящее время выделяют группу *стойких органических загрязнителей* (СОЗ), представляющих собой химические соединения различной природы и обладающих следующими свойствами:

- стойкостью в окружающей среде;
- устойчивостью к деградации;
- острой и хронической токсичностью;
- биоаккумуляцией;
- трансграничным переносом на большие расстояния по воздуху, воде либо с мигрирующими видами животных.

В первоначальный перечень из 12 химических веществ, предусмотренный Стокгольмской конвенцией о СОЗ, принятой в г. Стокгольме 22.05.2001 г., вошли восемь хлорсодержащих пестицидов – альдрин, эндрин, дильдрин, хлордан, дихлордифенил трихлорметилметан (ДДТ), токсафен, мирекс, гептахлор. Остальные – гексахлорбензол (ГХБ), полихлорированные бифенилы (ПХБ) и полихлорированные диоксины (ПХДД) и фураны (ПХДФ) относятся к веществам, длительное время применяемым в качестве диэлектрических или охлаждающих жидкостей в электрооборудовании, пластификаторов и других добавок при производстве лаков, красок, смазочных масел, гидравлических жидкостей.

Данный список СОЗ является окончательно незакрытым, и конвенцией предусмотрена возможность внесения в эти группы новых веществ по мере накопления необходимой информации. В настоящее время в перечень СОЗ внесены еще более двух десятков соединений (хлордекон, линдан, гексабромдифенил и др.).

Одним из опасных загрязняющих веществ, вызывающих онкологические заболевания, является всем известный бензопирен. Он образуется при сгорании любого топлива и для него установлено значение ПДК, равное  $1 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> воздуха.

В настоящее время существенно возросла опасность общепланетарного отравления среды обитания человека диоксинами и родственными им соединениями. Название «диоксины» часто используется для семейства структурно и химически связанных ПХДД и ПХДФ. Химическое название самого диоксина – 2,3,7,8-тетрахлородибензопарадиоксин (ТХДД). Некоторые диоксиноподобные ПХБ с похожими токсическими свойствами также входят в понятие «диоксины». Выявлено 419 типов относящихся к диоксинам соединений, но лишь 30 из них имеют значительную токсичность, а самым токсичным является ТХДД.

Токсикологические характеристики диоксинов и подобных им соединений зависят от положения атомов хлора в молекуле. Особенно токсичны вещества, содержащие галогены в тех же местах, что и в молекуле 2,3,7,8-ТХДД. Он более ядовит, чем кураре, стрихнин, и является самым смертельным ядом из всех известных человечеству. Диоксинов по химическому составу много, токсичность у них различная, и человечество, сталкиваясь с ними, подвергается воздействию их смесей. Токсичность смесей оценивается по особым системам, где каждому соединению присваивается коэффициент токсично-



сти относительно 2,3,7,8-ТХДД, общая токсичность смеси выражается в эквивалентном количестве этого соединения – так называется *диоксиновый эквивалент* (ДЭ).

Признаками поражения диоксинами являются снижение веса, потеря аппетита, появление угреобразной сыпи на лице и шее, не поддающейся лечению. Развивается поражение век. Наступают крайняя депрессия и сонливость. В дальнейшем поражение диоксином приводит к нарушениям функций иммунной, нервной систем, обмена веществ, изменению состава крови. При воздействии более высоких концентраций диоксины могут вызывать мутагенный, тератогенный и эмбриотоксический эффект, приводить к онкозаболеваниям и пр. В Беларуси для диоксинов установлена ПДК<sub>сс</sub> в атмосферном воздухе (в пересчете на 2,3,7,8-ТХДД), равная  $0,5 \cdot 10^{-9}$  мг/м<sup>3</sup>, а для воды –  $2 \cdot 10^{-8}$  мг/дм<sup>3</sup>.

К *озоноразрушающим веществам* (ОРВ) относятся фреоны – пентафторхлорэтан (ХФУ-115), трифторбромметан (галон-1301), дифторхлорбромметан (галон-1211), трифторхлорметан (ХФУ-13), тетрахлорметан, фторхлорметан (ГХФУ-31), фтордибромметан (ГБФУ-21В2) и др.

Вредные вещества в зависимости от их свойств и условий их воздействия на человека (концентрация/доза/время) могут вызывать острые и хронические отравления (интоксикации). Важнейшей характеристикой вредного воздействия химического вещества является степень его вредности (токсичность).

**Токсичность** является мерой несовместимости вещества с жизнью. Например, это может быть средняя смертельная доза или концентрация химического вещества. Однако в реальных условиях вероятность развития интоксикации обусловлена не только токсичностью, но и общим количеством поступившего в организм вредного вещества (дозой), опасным для жизни. Поэтому для классификации химических веществ введено и такое понятие, как «опасность».

**Опасность** – вероятность возникновения вредных для здоровья последствий, являющихся результатом контакта человека с химическими веществами. Опасность характеризуется двумя группами показателей.

К *первой группе* относятся показатели потенциальной опасности, определяющие возможность попадания в организм вредного вещества:

- средняя смертельная доза при введении в желудок – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном введении в желудок (ДЛ, мг/кг);

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном нанесении на кожу (ДЛ, мг/кг);
- средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при 2–4-часовом ингаляционном воздействии (СЛ, мг/м<sup>3</sup>);
- коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО) – отношение максимальной допустимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей при 2-часовом воздействии.

Ко второй группе относятся показатели реальной опасности:

- зона острого действия – отношение смертельной концентрации вредного вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящее за пределы приспособительных физиологических реакций;
- зона хронического действия – отношение минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных реакций, к минимальной концентрации, вызывающей вредное действие на организм в хроническом эксперименте, – по 4 ч пять раз в неделю на протяжении не менее четырех месяцев.

Считают, что вещество тем опаснее, чем меньше зона острого действия. Такое вещество опасно с точки зрения развития тяжелых (смертельных) форм отравлений. Зона хронического действия характеризует хроническое отравление. Проявления хронического отравления развиваются скрытно по мере постепенного накопления вредного вещества и увеличения его токсического действия. Например, при длительном воздействии свинца, ртути или кадмия развиваются хронические интоксикации. Эти вещества обладают способностью накапливаться и медленно выводятся из организма. Свинец откладывается в костях, ртуть и кадмий – в почках, марганец – в печени.

В зависимости от степени воздействия на организм человека все нормируемые вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- 1-й класс – чрезвычайно опасные вещества, значения ПДК<sub>р.з</sub> которых в воздухе рабочей зоны не превышают 0,1 мг/м<sup>3</sup>;
- 2-й класс – высокоопасные со значением ПДК<sub>р.з</sub> от 0,1 до 1 мг/м<sup>3</sup>;

- 3-й класс – умеренно опасные со значением ПДК<sub>р,з</sub> от 1,1 до 10 мг/м<sup>3</sup>;

- 4-й класс – малоопасные со значением ПДК<sub>р,з</sub> > 10 мг/м<sup>3</sup>.

Класс опасности веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Показатели токсичности вредных веществ

Показатель	Норма для классов опасности			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15–150	151–5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100–500	501–2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Менее 500	500–5000	5001–50 000	Более 50 000
Коэффициент возможного ингаляционного отравления	Более 300	300–30	29–3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0–18,0	18,1–54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0–5,0	4,9–2,5	Менее 2,5

Отнесение вещества к классу опасности проводят по показателю, значение которого является максимальным.

Вредные химические вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания, ЖКТ, кожный покров и слизистые оболочки. Независимо от пути проникновения, в организме вредные вещества подвергаются физико-химическим превращениям, биологическая направленность которых состоит в обезвреживании вредных веществ и выведении их из организма.

Как правило, люди подвергаются одновременному или совместному (*комбинированному*) воздействию сразу нескольких вредных веществ. Разделяют несколько видов комбинированного действия вредных веществ.

*Однонаправленное действие* возникает, когда компоненты смеси действуют на одни и те же системы в организме. В этом случае суммарный эффект воздействия смеси равен сумме эффектов отдельных компонентов и должен отвечать соотношению

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где  $C$  – концентрации компонентов смеси; ПДК – предельно допустимые концентрации компонентов.

Таким образом, сумма отношений концентраций каждого из компонентов не должна превышать единицы. Эффектом суммации, например, обладают группы: аммиак, сероводород и формальдегид; озон, диоксид азота (IV) и формальдегид; диоксид азота (IV) и диоксид серы (IV); диоксид азота (IV), оксид углерода (II), фенол и диоксид серы (IV); сероводород и формальдегид; диоксид серы (IV) и фенол; диоксид серы (IV) и фтористые газообразные соединения; оксид углерода (II) и пыль цементного производства и др.

*Положительный синергизм (потенцирование)* имеет место, когда одно вредное вещество усиливает токсическое действие другого. Это происходит вследствие подавления одним из вредных веществ деятельности систем организма, ответственных за обезвреживание другого вещества. Положительный синергизм отмечается, например, при совместном воздействии хлорофоса и винилфосфата, четыреххлористого углерода и этилендихлорида или оксида углерода и бензола. Никель усиливает свою токсичность в присутствии медьсодержащих соединений в 10 раз. Алкоголь повышает опасность отравления анилином и ртутью.

Атмосферный воздух всегда загрязнен несколькими веществами, которые обладают эффектами суммации или потенцирования.

*Отрицательный синергизм (антагонизм)* проявляется в том, что одно химическое вещество ослабляет действие другого. Такое явление наблюдается, например, в отношении сернистого ангидрида и хлора, диоксида серы (IV) и аммиака, аммиака и оксида углерода (II). Это происходит вследствие химического взаимодействия указанных веществ с образованием малотоксичных соединений.

*Независимое действие* вредных веществ проявляется при одновременном содержании в воздухе нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным действием. В этом

случае их токсические индивидуальные эффекты не зависят один от другого. Например, пары бензола и раздражающие газы (оксиды азота, серы, хлор и др.) действуют на разные органы и системы, и значения их ПДК остаются такими же, как при изолированном действии каждого компонента.

Обобщенная характеристика воздействия некоторых загрязняющих веществ на организм человека представлена в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Воздействие основных загрязнителей на организм человека

Загрязнители	Основные виды воздействия на человека
1	2
Асбест	Канцерогенное (рак легких)
Диоксид серы (IV)	Заболевания дыхательных путей, конъюнктивит, головные боли
Диоксид азота (IV)	Заболевания органов дыхания, раздражение слизистых оболочек, головные боли, бессонница
Диоксины	Острые и хронические отравления, мутагенный и тератогенный эффект, канцерогенное действие, иммунодефицит
Угарный газ	Кровяной яд, головные боли, тошнота, смерть от удушья
Винилхлорид	Канцерогенное действие
Формальдегид	Заболевания органов дыхания, аллергенное и канцерогенное действие
Фреоны	Канцерогенная опасность вследствие разрушения озонового слоя
Нитраты, нитриты, продукты метаболизма азотных удобрений	Острые отравления, нарушение обмена веществ, аллергенное и канцерогенное действие, нервные расстройства
Бензопирен	Канцерогенное, мутагенное, тератогенное действие
Хлорорганические пестициды	Поражение печени, ЦНС, канцерогенное действие
Бериллий	Дерматиты, язвы, воспаления слизистых оболочек
Ванадий	Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменение формулы крови
Кадмий	Респираторные заболевания, почечная дисфункция, канцерогенное воздействие

1	2
Мышьяк	Рак легких, кожные болезни, заболевания крови (включая малокровие)
Никель	Респираторные заболевания, астма, нарушение дыхательной защитной системы, рак носа и легких, врожденные пороки
Ртуть	Поражение ЦНС, включая временную потерю памяти, нарушение координации, почечная недостаточность
Свинец	Нарушение процессов кровообразования, повреждения печени и почек, неврологические заболевания
Хром	Рак легких и ЖКТ, дерматиты
Таллий	Нарушение обмена веществ, гипотензия и брадикардия, воспаление глазных нервов и поражение глазных мышц, выпадение волос

## 5.5. Загрязнение природной среды и его влияние на биосферу

### 5.5.1. Атмосфера

#### 5.5.1.1. Влияние метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферы

Уровень загрязнения атмосферы определяется концентрацией примесей в приземном слое воздуха (1,5–2,0 м от поверхности земли) и зависит от технологических и метеорологических факторов.

К *технологическим факторам* относятся: расход газовой смеси, ее температура, концентрация загрязняющих веществ в выбросах, высота источников, сечение устья трубы и др.

К *метеорологическим характеристикам и коэффициентам*, определяющим условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, относятся: средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года; средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца года; среднегодовая роза ветров; скорость ветра по средним многолетним данным, повторяемость превышения

которой составляет 5%; коэффициент рельефа местности и коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы. Эти данные вместе с ориентировочными значениями фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выдаются Государственным учреждением «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» (РЦРКМ) для расчета рассеивания примесей в воздухе при установлении значений норматива допустимого выброса (НДВ) и границ санитарно-защитной зоны (табл. 5.5).

**Таблица 5.5. Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска**

Наименование характеристик									Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, А									160
Коэффициент рельефа местности									1
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, °С									+23,0
Средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца года (для котельных, работающих по отопительному графику), °С									-5,9
Среднегодовая роза ветров, %									
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	
6	4	9	12	20	17	20	12	3	Январь
14	9	9	6	10	12	20	20	7	Июль
9	8	11	11	16	13	18	14	5	Год
Скорость ветра (по средним многолетним данным), повторяемость превышения которой составляет 5%, м/с									5

Расположение источников загрязнения определяется географическим местоположением в зависимости от широты и долготы местности, а также локальным – в зависимости от рельефа местности (долина, холм и др.) и высоты над уровнем моря.

Направление и скорость ветра в приземном слое атмосферы формируется вращением Земли (силой Кориолиса), рельефом местности, атмосферным давлением и температурным градиентом. Вследствие этого для северного (С) полушария

Земли наиболее характерны юго-западные (ЮЗ) и северо-восточные (СВ) ветры, а для южного (Ю) – северо-западные (СЗ) и юго-восточные (ЮВ) ветры (табл. 5.5).

Скорость ветра возрастает с увеличением перепада атмосферного давления. Ветер стремится заполнить разреженные зоны за счет *зон повышенного давления*, или *антициклонов*. При этом в зонах разрежения возникают восходящие, а в антициклонах – нисходящие потоки воздуха. Наиболее высокие скорости ветра наблюдаются зимой, так как этот период характеризуется высокими горизонтальными и вертикальными температурными градиентами и градиентом давления.

На большей части Европы сила ветров ослабевает к концу осени и началу зимы. Скорость воздушного потока у поверхности земли ниже, чем на высоте 500–1000 м (слой трения), вследствие торможения воздушных масс о шероховатости подстилающей поверхности. Профиль скорости ветра изменяется в течение суток. Как правило, днем воздух перемещается тепловыми конвективными потоками вверх. Ночная конвекция намного слабее дневной, поэтому у поверхности земли скорость ветра больше днем, а на высоте – ночью.

Атмосфера является термодинамической системой, в которой вертикальное перемещение масс воздуха при определенных условиях может рассматриваться как адиабатический процесс, т.е. как процесс, протекающий без притока или отдачи теплоты. При этом воздух, поднимающийся вверх, будет охлаждаться, а опускающийся – нагреваться. Это происходит потому, что при подъеме воздуха вверх его объем будет возрастать вследствие уменьшения давления атмосферы, а температура снижаться. При опускании происходит обратное явление – объем уменьшается, а температура возрастает. Изменение при этом температуры составляет примерно 0,6–1 °С на каждые 100 м вертикального столба воздуха. В этом случае состояние атмосферы называется *безразличным (нейтральным)*. Оно характерно для сухой ясной погоды.

Если температура окружающего воздуха понижается с высотой так, что его вертикальный градиент больше адиабатического (что наблюдается в случае сильного нагрева поверхности земли), то движущийся снизу объем воздуха получает ускорение. Нагретые конвекционные струи поднимаются вверх, а взамен их вниз опускаются холодные потоки воздуха. Такие условия называются *неустойчивыми конвективными*.



Если вертикальный температурный градиент воздуха близок к нулю или становится отрицательным (т.е. температура с высотой возрастает), то вертикально поднимающийся объем воздуха оказывается холоднее окружающих масс, и его движение затухает. Такие условия называются *устойчивыми инверсиями*.

**Инверсии температуры** могут начинаться от поверхности земли (*приземная инверсия*) или с некоторой высоты (*приподнятая инверсия*). И в одном и во втором случае они препятствуют перемешиванию воздуха и способствуют накоплению в приземном слое примесей, включая и продукты конденсации влаги в воздухе, образующие туманы, дымку и низкие облака. Таким образом, опасный уровень загрязнения воздуха при инверсии часто сопровождается туманом или дымкой. Влияние температурной инверсии и застоев воздуха на формирование опасных уровней загрязнения воздуха в приземном слое проявляется по-разному в зависимости от типа источника загрязнения и параметров выброса. Для г. Минска количество дней с приземными инверсиями составляет 150–165 дней, с приподнятыми – 80–90 дней в году.

Схемы распространения в атмосфере примесей в зависимости от вида инверсии и характеристики выбросов показаны на рис. 5.3. При низких источниках (трубах) с холодными выбросами наибольшие концентрации примесей в приземном слое создаются при отсутствии ветра или слабом ветре (1–2 м/с) в сочетании с приземной инверсией. При этом максимальное загрязнение воздуха наблюдается непосредственно у источника. Максимальные загрязнения от высоких источников с горячими выбросами создаются при приподнятых инверсиях и наличии под инверсией слоя турбулентного перемешивания воздуха, способствующего переносу примесей от труб вниз. При этом чем ниже под трубой граница слоя с инверсией температуры, тем сильнее загрязнение воздуха в приземном слое. Максимум загрязнения находится на некотором расстоянии от источника по направлению ветра.

Высокое загрязнение воздуха может образоваться и при отсутствии инверсий, и даже тогда, когда в пограничном слое атмосферы (до 1–1,5 км) вертикальный градиент температуры больше 1 °С на 100 м высоты. В таких случаях высокое загрязнение воздуха в приземном слое возникает при сильном ветре. Максимум его находится на расстоянии нескольких километров от источника.

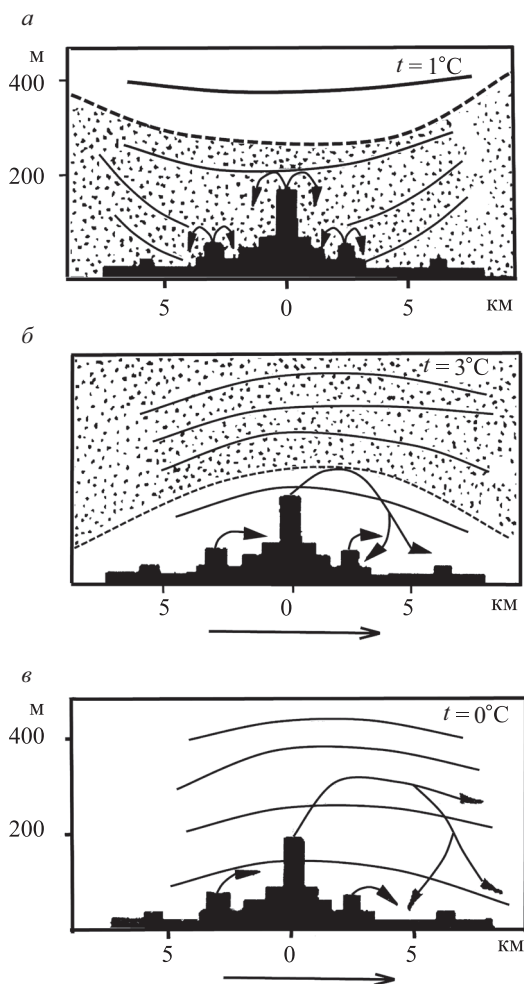


Рис. 5.3. Схемы распространения в атмосфере загрязняющих веществ от организованных источников выбросов:

*а* – при приземных инверсиях; *б* – при приподнятых инверсиях; *в* – при безинверсионном состоянии атмосферы

Для количественного выражения состояния устойчивости атмосферы используют соотношение вертикального температурного градиента и скорости ветра, так называемый *критерий стратификации атмосферы А*. Этот критерий используется при всех расчетах рассеивания примесей в атмосфере.

Устойчивость атмосферы может быть слабой, умеренной и сильной. Рассеяние примесей в условиях каждого класса устойчивости атмосферы имеет свои особенности, формирующие характерный вид дымовой струи, по которому можно судить о термодинамическом состоянии нижних слоев атмосферы.

Схематически формы струй одиночных дымовых труб в зависимости от вертикального температурного градиента изображены на рис. 5.4.

Образование волнообразной струи (рис. 5.4, *а*) происходит при очень неустойчивом вертикальном температурном градиенте. Эта форма обычно наблюдается днем при хорошей погоде и сильном нагревании земли солнцем. Конусообразная форма струи (рис. 5.4, *б*) встречается при слабом вертикальном

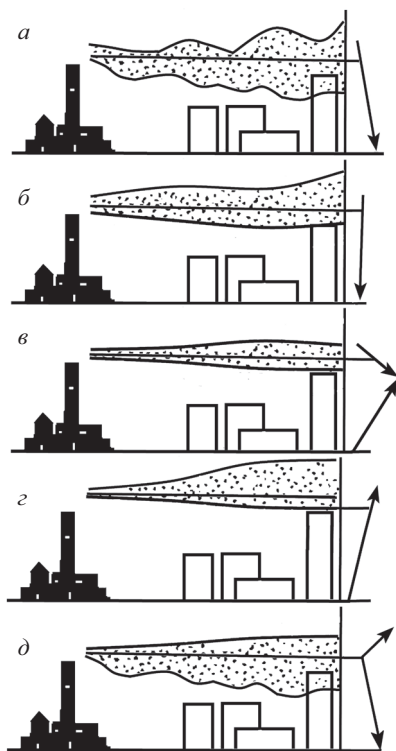


Рис. 5.4. Характерные формы дымовых струй от высоких труб:  
*а* – волнообразная; *б* – конусообразная; *в* – веерообразная; *г* – приподнятая; *д* – задымляющая

градиенте температуры и ветреной погоде, особенно во влажном климате. Веерообразная форма струи (рис. 5.4, в) возникает при температурной инверсии. Ее форма напоминает извивающуюся реку, которая постоянно расширяется с удалением от трубы. Эта форма струи часто наблюдается при снежном покрове, слабом ветре и ясной погоде. Приподнятая форма струи (рис. 5.4, з) обычно возникает ночью и, как правило, в течение 1–3 ч, она является самой благоприятной для рассеивания вредных веществ. Наиболее неблагоприятна в гигиеническом отношении задымляющая форма струи (рис. 5.4, д), при которой падение температуры воздуха обычно начинается у поверхности земли и распространяется на некоторую высоту (зимой – сильнее, летом – слабее). В этих условиях выбрасываемые из трубы дымовые газы с высокой концентрацией примесей тепловыми вихрями приносятся к земле вдоль всей струи. Задымляющая струя приводит к образованию максимальной приземной концентрации примесей в воздухе и как наиболее неблагоприятная принимается для расчета рассеивания выбросов в атмосфере.

Штили и облачность (особенно низкая), сопровождающиеся плотными туманами, часто являются причиной длительных приземных инверсий, которые могут сохраняться в течение многих дней. В связи с этим даже при общем небольшом уровне загрязнения воздуха в городе может образоваться опасная ситуация. В крупных городах концентрации вредных примесей могут достигать критических уровней, что и происходило в разные годы в таких городах, как Лондон, Лос-Анджелес, Нью-Йорк, Токио и других и вошло в историю под интегральным названием «смог».

Международный термин *смог* (от англ. *smoke* – дым, *fog* – туман, токсический туман) – это опасное атмосферное явление, возникающее при неблагоприятных метеорологических условиях и характеризующееся высокими концентрациями вредных веществ в приземном слое воздуха и низкой видимостью атмосферы. Существует три типа смогов – восстановительный, или смог Лондонского типа; окислительный, или фотохимический; смог ледяного типа.

*Восстановительный смог* – это атмосферное явление, характерное для крупных промышленных центров, представляющее собой смесь дыма, сажи и диоксидов серы и азота на фоне неблагоприятных метеорологических условий. Обычно этот смог достигает максимального уровня рано утром, при

температуре около 0 °С и высокой влажности. За счет раздражающего действия образующихся азотной и серной кислот на бронхи и дыхательные пути он оказывает прямое отрицательное влияние на здоровье людей. В 1952 и 1962 гг. этот смог привел к смерти несколько тысяч человек в Лондоне.

*Фотохимический смог* – характерен для южных промышленных и крупных административных городов с высокой интенсивностью ультрафиолетовой радиации Солнца. При этом типе смога оксиды азота и углеводороды, содержащиеся в выхлопных газах автотранспорта, под влиянием солнечной радиации образуют оксиданты, в состав которых входят озон, формальдегид, акролеин, органические озониды, органические кислоты, пероксиды (диацетилпероксид, диметилпероксид, пероксиацетилнитрат), большинство из которых более токсичны по сравнению с исходными веществами. Фотохимический смог достигает максимального уровня около полудня при температурах 24–32 °С и низкой влажности и дополняется нисходящей инверсией. Он вызывает раздражение глаз, нарушает процессы вегетации растений, окисляет резину и обуславливает быстрое ее старение и разрушение, а также имеет неприятный запах. Кроме того, снижается прозрачность атмосферы, что связано с образованием аэрозолей, одной из составляющих которых является триоксид серы – продукт окисления соответствующего диоксида.

*Ледяной смог* – опасное атмосферное явление, возникающее в северных широтах при неблагоприятных метеорологических условиях под воздействием мелкодисперсной пыли, оксидов серы и азота, высокой влажности и низкой температуры. В данном случае эффект воздействия на органы дыхания человека аэрозолей кислот усиливается механическим действием мелких кристалликов льда.

Таким образом, на качество атмосферного воздуха существенное влияние оказывают среднегодовые метеорологические характеристики, такие как приземные инверсии, их повторяемость, мощность и интенсивность, скорость и направление ветра, его повторяемость, высота слоя перемещения воздуха над поверхностью земли, продолжительность туманов и др. Сочетание этих метеорологических характеристик определяет *потенциал загрязнения атмосферы*.

К *неблагоприятным метеорологическим условиям* (НМУ) относятся туман, штиль, слабый ветер, повышение температуры воздуха в слое атмосферы над источником выбросов, не-

благоприятное направление ветра и другие подобные метеорологические условия, способствующие увеличению загрязнения атмосферного воздуха.

При НМУ может сложиться обстановка, способствующая повышению концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В этом случае необходимо предпринимать организационные и технические мероприятия по регулированию выбросов загрязнителей в атмосферу. При НМУ природопользователи обязаны производить регулирование выбросов в атмосферу в соответствии с планами мероприятий на период НМУ и соответствующими техническими нормативными правовыми актами (ТНПА).

Прогнозы и предупреждения об ожидаемом повышении уровня загрязнения атмосферного воздуха разрабатываются РЦРКМ и в зависимости от опасности могут быть первой, второй и третьей степени. При получении сообщения соответствующей степени природопользователь должен перейти на один из трех режимов работы, позволяющий сократить концентрацию загрязняющих веществ в приземном слое воздуха на 15–20% (по 1-му режиму), 20–40% (по 2-му режиму) и 40–60% (по 3-му режиму).

Механизм прогнозирования НМУ состоит из расчета параметра  $P$ , анализа аэросиноптических данных, прогноза НМУ и составления штормового предупреждения. Параметр  $P$  является мерой фонового загрязнения воздуха и изменяется в зависимости от метеоусловий:

$$P = m / n,$$

где  $m$  – количество наблюдений в течение дня с концентрациями приоритетных примесей, превышающих среднесезонные в 1,5 раза;  $n$  – общее число наблюдений за концентрацией примесей на всех стационарных постах мониторинга города в течение дня.

Для каждого города имеется перечень приоритетных примесей, по которым рассчитывается параметр  $P$ . Например, для г. Минска берутся следующие загрязнители: пыль, диоксиды серы и азота, оксид углерода, фенол, формальдегид, аммиак. Предупреждения составляются при величине фактического параметра  $P > 0,30$  и ожидаемых НМУ, способствующих накоплению примесей в атмосфере; затем они передаются разными видами связи по трем степеням опасности, соответствующих трем режимам работы предприятий в НМУ.

Предупреждение первой степени опасности, соответствующее 1-му режиму работы предприятия, составляется при ожидаемых НМУ, представленных в табл. 5.6.

Таблица 5.6. Неблагоприятные комплексы метеорологических параметров для основных групп источников

Характеристика выбросов	Термическая стратификация нижнего слоя атмосферы	Скорость ветра, м/с		Вид инверсии, ее высота над источником, м
		флюгера	выбросов	
Горячие высокие	Неустойчивая	3–5	6–10	Приподнятая, 100
		4–7	8–14	150–200
		4–6	8–12	300
Холодные высокие	Неустойчивая	1–2	2–4	Приподнятая, 0–200
Низкие	Устойчивая	Штиль южный, 2–5	2–5; 4–10	–

Предупреждение первой степени опасности составляется при фактически наступившем повышенном уровне загрязнения ( $P > 0,30$ ), при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких контролируемых веществ выше ПДК.

Предупреждение второй степени опасности, соответствующее 2-му режиму работы предприятия, составляется в том случае, если ожидаются следующие метеоусловия:

- слой термодинамического перемешивания менее 500 м, но больше высоты источника в сочетании со скоростью ветра, близкой к опасной для данного источника;
- туман и штиль (для холодных выбросов);
- туман и скорость ветра более 2 м/с (для горячих выбросов);
- штиль в сочетании с приземной инверсией (для низких источников).

Предупреждения второй степени опасности составляются при фактически наступившем высоком уровне загрязнения ( $P > 0,50$ ), при этом обнаруживаются концентрации одного или нескольких контролируемых веществ выше 3 ПДК, а также если после передачи предупреждения первой степени опасности поступающая информация показывает, что принятые меры не обеспечивают необходимого качества атмосферы.

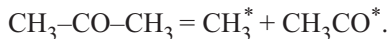
Предупреждение третьей степени опасности, соответствующее 3-му режиму работы предприятия, составляется в случае, когда после передачи предупреждения второй степени поступающая информация показывает, что при сохраняющихся метеорологических принятые меры не обеспечивают необходимого качества атмосферы, при этом обнаруживаются концентрации в воздухе одного или нескольких вредных веществ выше 5 ПДК.

### **5.5.1.2. Трансформация загрязняющих веществ в атмосфере**

В химии атмосферы загрязняющие атмосферный воздух вещества подразделяются на первичные и вторичные. *Первичными* называют вещества, непосредственно поступающие в атмосферу от всех источников выбросов. *Вторичные* представляют собой продукты трансформации в атмосфере первичных веществ. Во многих случаях вторичные примеси оказываются более токсичными, чем исходные вещества.

Поступающие в атмосферный воздух загрязняющие вещества подвергаются различным превращениям в результате реакций между собой, атмосферной влагой, с озоном и другими уже содержащимися в воздухе веществами, а также под воздействием УФ-излучения солнца. Степень превращения веществ зависит от многих факторов: времени пребывания, их активности, концентрации, температуры и влажности воздуха, интенсивности солнечной радиации и др.

Весьма важными являются реакции ненасыщенных углеводородов с озоном. При фотохимических реакциях альдегидов и кетонов могут образовываться свободные радикалы. Например, радикал формил ( $\text{HCO}^*$ ) образуется из формальдегида, а радикалы метил ( $\text{CH}_3^*$ ) и ацетил ( $\text{CH}_3\text{CO}^*$ ) – из ацетона по реакции



За этими реакциями следуют другие, в результате которых образуются пероксиды и органические кислоты. Таким образом, в атмосфере синтезируются сложные органические вещества и полупродукты. Например, из ацетальдегида образуется диацетилпероксид, который в ходе дальнейших превращений приводит к получению веществ класса морфинов (героина). Из ацетона образуются диметилпероксид и уксусная кислота. В ходе дальнейших преобразований может получиться диметилпирон, пары которого чрезвычайно едки и токсичны.



Олефины с большим количеством двойных связей также вступают в фотохимические реакции с образованием свободных радикалов. При взаимодействии с кислородом некоторые свободные радикалы могут образовывать пероксисоединения, из которых выделяются новые пероксиды или свободные радикалы, способные вызвать полимеризацию олефинов или стать источником озона.

Возможность протекания указанных ранее реакций во многом зависит от присутствия в атмосфере твердых частиц. Они выполняют роль катализаторов или создают поверхности, на которых адсорбируются газовые или жидкие загрязняющие вещества.

Время нахождения твердых частиц в атмосфере зависит от их размера. Тонкодисперсные частицы могут пребывать в атмосфере долгое время (годы) и переноситься на большие расстояния. Среднее время нахождения тонкодисперсных частиц в непосредственной близости от поверхности земли составляет 1–5 сут, в тропосфере – 5–10 сут, а в стратосфере – около года. По наблюдениям советских космонавтов, глубокие слои пылевидных частиц находятся на высоте 10–20 км от поверхности Земли. Над севером Атлантического океана расположены мощные облака частиц, выброшенных промышленными странами Европы.

При выбросе потока газа на большую высоту он перемешивается с окружающим воздухом и в зависимости от метеорологических условий переносится на большие расстояния. Поэтому выпадение из атмосферного воздуха токсичных примесей на поверхность Земли может происходить в районах, значительно удаленных от источника загрязнения.

Наиболее распространенными превращениями, протекающими в атмосфере с участием компонентов газовых выбросов, являются процессы конденсации, окисления и фотохимические реакции. В некоторых случаях решающее влияние оказывают температурные изменения, приводящие к конденсации газов и паров. Эти явления сопровождаются образованием туманов, капель и т.д. После длительного пребывания загрязняющих газообразных веществ в атмосфере они превращаются в твердые, тонкодисперсные частицы. Упрощенная схема этого процесса представлена на рис. 5.5.

Выбросы кислотных и щелочных газов, поступающих от различных промышленных источников, могут реагировать между собой в атмосфере, что приводит к образованию кристаллов солей.

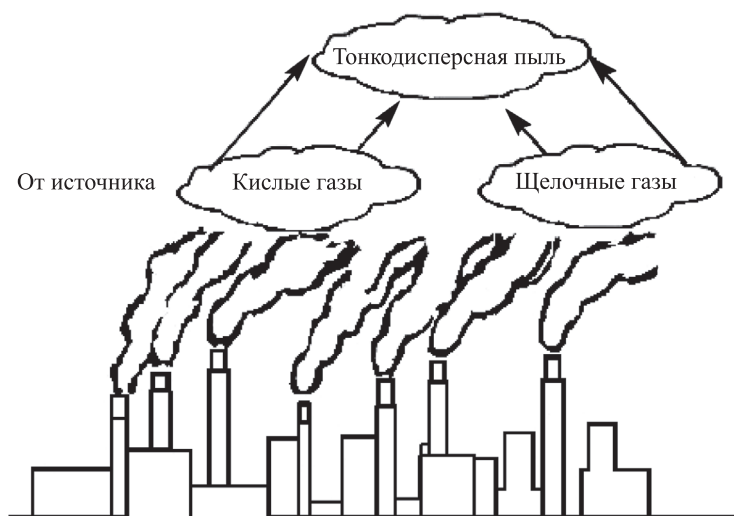


Рис. 5.5. Принципиальная схема превращения газообразных выбросов в атмосфере

Солнечное излучение вызывает в атмосфере химические реакции между различными загрязняющими веществами и компонентами окружающей среды (рис. 5.6). Наиболее часто

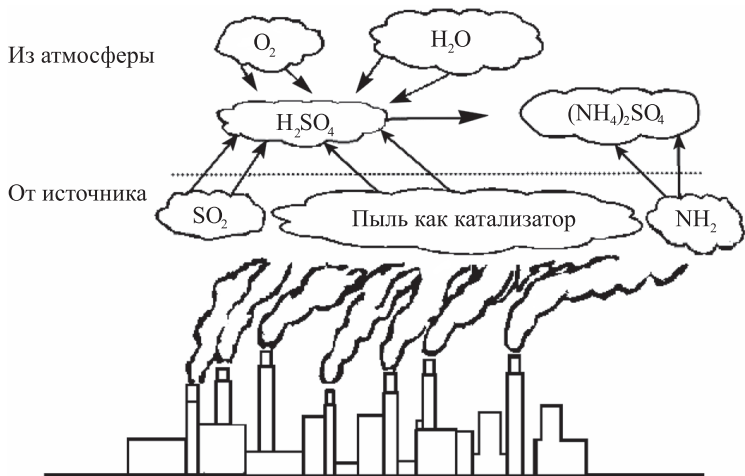


Рис. 5.6. Процессы окисления выбросов загрязняющих веществ в атмосфере

происходящий в атмосфере химический процесс – окисление веществ кислородом воздуха. Так, в атмосфере происходит окисление диоксида серы (IV) в триоксид серы (VI) и оксида азота (II) в диоксид азота (IV), альдегидов до органических кислот.

Скорость окисления для различных веществ неодинакова и зависит от ряда дополнительных факторов. Например, окисление оксида азота (II) кислородом воздуха до диоксида азота (IV) происходит очень быстро.

В сухом чистом воздухе диоксид серы (IV) может сохраняться в течение 2–4 дней или более, прежде чем полностью превратится в триоксид серы (VI).

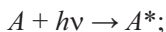
При высокой влажности и в присутствии твердых веществ, катализирующих окисление, полупериод реакции окисления  $\text{SO}_2$  (IV) составляет 10–20 мин. За это время половина диоксида серы превращается в триоксид серы. Однако полное окисление второй половины  $\text{SO}_2$  (IV) занимает от нескольких часов до нескольких суток. Ускорить реакции окисления может наличие твердых частиц, УФ-излучение или присутствие сильных окислителей. К последним веществам относятся озон, пероксид водорода и атомарный кислород, которые образуются в атмосфере в процессе фотохимических реакций.

Солнечный свет с длиной волны 290–700 нм является фотохимически активным. Вещества, поглощающие такое излучение, могут выступать как основные фотохимические реагенты, которые переносят поглощенную энергию к молекулам веществ.

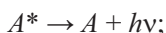
В число первичных веществ, поглощающих УФ-излучение, входят соединения серы, диоксид азота (IV) и альдегиды. Излучение возбуждает молекулы указанных веществ, которые затем реагируют с молекулярным кислородом атмосферы с образованием атомарного кислорода. Схема таких превращений приведена на рис. 5.7.

Наиболее важными в практическом отношении являются фотохимические реакции с участием солнечного излучения. В общем случае при поглощении энергии кванта света ( $h\nu$ ) могут протекать следующие процессы:

- образование электронно-возбужденных молекул:



- дезактивация за счет флуоресценции:



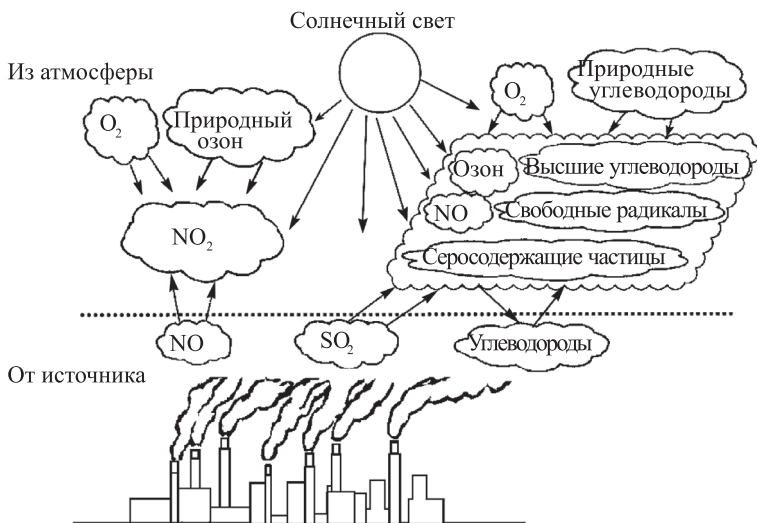
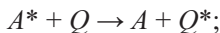
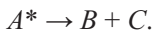


Рис. 5.7. Цепные фотохимические реакции загрязняющих веществ в атмосфере

- дезактивация (тушение) путем соударения с другими молекулами:

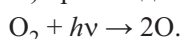


- диссоциация:

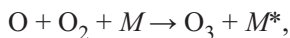


В фотохимических атмосферных процессах наиболее важным является появление электронно-возбужденных молекул  $A^*$ , которые вследствие своей нестабильности приводят к образованию новых веществ  $B$  и  $C$ . Последние могут быть весьма активными, что способствует началу цепи реакций, в результате которых возникают нежелательные соединения, характерные для фотохимического смога.

В тропосфере и стратосфере химические превращения инициируются продуктами фотолиза молекул  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$  и  $N_2O$  (I), важнейшим из которых является озон. Образование озона в стратосфере (свыше 25 км) происходит по следующей реакции:

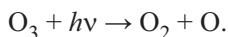


Полученный атомарный кислород участвует в реакциях образования озона:

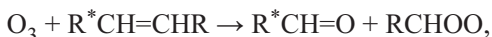


где  $M$  – третье вещество, принимающее избыток энергии (молекулы  $N_2$  или  $O_2$ ).

В свою очередь, озон подвергается химической диссоциации:



Атомарный кислород и озон могут вступать в реакции с различными органическими соединениями, в результате которых образуются свободные органические и неорганические радикалы. Например, для олефиновых углеводородов возможны следующие последовательные реакции:

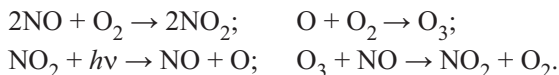


где  $RCHO$  – бирадикал, способный перегруппировываться в карбоновую кислоту или при столкновении с молекулой  $NO$  превращаться в карбонильные соединения  $R^*CH=O$  и  $RCH=O$ . Последняя, в свою очередь, фотодиссоциирует в атмосферном воздухе с образованием радикалов.

В атмосферном воздухе могут протекать и другие фотохимические реакции с участием свободных радикалов и образованием альдегидов, кетонов, органических кислот, оксида углерода (II) и оксидантов (озон, диоксид азота (IV), соединения типа пероксиацилнитратов (ПАН) и др.).

Образующиеся в результате фотохимических реакций ПАН и пероксибензоилнитрат (ПБН) очень сильно раздражают слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, а также отрицательно воздействует на ассимиляционный аппарат растений.

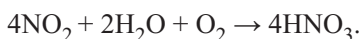
Кроме кислорода в атмосфере присутствуют азот и другие азотсодержащие газы ( $NH_3$ ,  $NO$  (II),  $NO_2$  (IV),  $N_2O$  (I)). В конденсированной фазе азот находится в формах иона аммония ( $NH_4^+$ ) и нитратного иона ( $NO_3^-$ ). В атмосферном воздухе населенных пунктов наблюдается также значительное количество органических азотсодержащих соединений. Выбросы оксидов азота от техногенных источников представлены в основном в виде  $NO$  (IV), который в дальнейшем при участии солнечного света взаимодействует с кислородом:



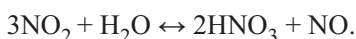
Следовательно, даже малые концентрации диоксида азота (IV) в атмосфере могут явиться причиной образования значительного количества атомарного кислорода и озона. Именно поэтому диоксид азота (IV) занимает важное место в формировании окислительного смога.

В атмосферном воздухе в зависимости от состава и концентрации загрязняющих веществ, а также от метеорологических условий возможны и другие многочисленные реакции с участием указанных компонентов.

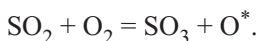
В цикле жизни соединений азота в атмосфере большое значение имеют реакции с образованием азотной кислоты:



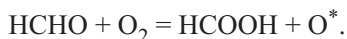
Диоксид азота (IV) может гидратироваться и в газовой фазе:



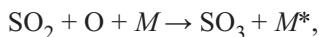
Диоксид серы (IV) поглощает излучение Солнца при длинах волн от 290 до 400 нм. Поэтому окисление диоксида серы (IV) в триоксид серы (VI) в атмосфере происходит значительно быстрее под действием солнечного света. Эта реакция описывается уравнением



Аналогичным образом реагируют и альдегиды:



Находящийся в атмосферном воздухе диоксид серы (IV) реагирует с атомарным кислородом с образованием серного ангидрида:



который в последующем переходит в серную кислоту и сульфаты. Скорость этой реакции возрастает с увеличением соотношения концентраций  $\text{SO}_2/\text{NO}_2$  в атмосферном воздухе. Частицы сульфатов и гидросульфатов размером 0,1–1 мкм сильно рассеивают свет, ухудшают видимость атмосферы и способны оказывать негативное воздействие на живые организмы.

Образующиеся аэрозоли азотной и серной кислот, а также сульфаты могут находиться в атмосферном воздухе значительное время (4–7 сут), переноситься с воздушными массами

на большие расстояния (5–8 тыс. км) и выпадать в виде кислотных дождей. На территории Европы ежегодно выпадает из атмосферы около  $12 \cdot 10^6$  т серосодержащих соединений.

### 5.5.1.3. Загрязнение атмосферы

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории нашей республики являются автотранспорт, промышленные предприятия и объекты энергетики. Валовые выбросы от стационарных и мобильных источников в 2012 г. составили 1389,1 тыс. т (68,8% – от мобильных источников, 31,2% – от стационарных) (табл. 5.7).

Таблица 5.7. Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосфере от стационарных и мобильных источников на территории Беларуси в 2012 г., тыс. т

Область, город	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды и НМЛОС	Прочие	Всего
Брестская	9,39	90,92	2,52	19,72	43,76	2,26	168,57
Витебская	10,38	83,94	31,86	25,72	68,44	3,53	223,87
Гомельская	10,14	95,79	19,98	25,34	66,69	4,21	222,15
Гродненская	9,72	80,87	2,40	21,08	42,45	5,11	161,63
Минская	12,90	128,51	4,96	26,46	63,41	6,35	242,59
г. Минск	7,00	153,87	2,56	26,33	46,56	0,14	236,46
Могилевская	8,69	62,94	2,11	19,97	37,07	3,05	133,63
Республика Беларусь	68,22	696,84	66,39	164,62	368,38	24,65	1389,0

Примечание. НМЛОС – неметановые летучие органические соединения.

К основным веществам, содержащимся в выбросах мобильных источников, относятся оксид углерода, оксиды азота, твердые вещества (сажа) и летучие органические соединения. Атмосферный воздух загрязняют не только выхлопные газы, но и продукты износа транспортных средств и дорожного покрытия, а также испарения топлива.

В 2012 г. валовые выбросы загрязняющих веществ от мобильных источников, согласно оценкам Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды), составили 955,8 тыс. т, в том числе оксида углерода 618,2 и углеводородов – 198,5 тыс. т. На долю остальных загрязнителей приходилось: оксидов азота – 11,1%, твердых веществ – 3,2%, оксида серы – 0,34%.

С передвижными источниками связаны также выбросы высокотоксичного бензопирена – около 0,78 т. Выбросы свинца автотранспортом практически отсутствуют, поскольку этилированный бензин в Беларуси не производится и не импортируется.

Основной объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в 2011 г. приходился на промышленность (включая энергетику), жилищно-коммунальное и сельское хозяйство, вклад которых в общий объем выбросов составил соответственно 72, 2 и 18%.

В составе валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу преобладали оксид углерода – 50,2%, углеводороды и ЛОС – 26,6%, оксиды азота – 11,7%, твердые вещества – 4,9%, диоксид серы – 4,8%.

Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (88,7%), углеводородов и ЛОС (53,4%), оксидов азота (64,2%) обусловлена работой мобильных источников. От стационарных источников эмиссии в атмосферу поступило 95,9% диоксида серы и 54,8% твердых частиц.

Особенности географического положения Беларуси обуславливают резкое преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничной составляющей. По последним модельным расчетам Метеорологического синтезирующего центра «Запад» Программы ЕМЕП (совместная программа наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе), годовой поток выпадений на территорию Беларуси трансграничной серы в 2010 г. составил 113,9 тыс. т, окисленного азота – 69,9 тыс. т, восстановленного азота – 95,9 тыс. т, антропогенного свинца – 67,6 т, кадмия – 3,68 т, ртути – 0,68 т, бензопирена – 6,88 т и диоксинов/фуранов – 374,7 гЭТ. В поступлении на территорию Беларуси окисленных серы и азота, тяжелых металлов, бензопирена основной вклад принадлежит странам-соседям: Польше, Украине и России.



В качестве наиболее достоверных индикаторов существующей нагрузки на окружающую человека среду служат удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Они рассчитываются либо на единицу площади, либо на душу населения.

Величина удельного валового выброса, рассчитанная на единицу площади, в 2012 г. составила 6,69 т/км<sup>2</sup>, изменяясь от 4,6 (Могилевская область) до 6,44 т/км<sup>2</sup> (Гродненская область). Для Минска этот показатель составлял 679,48 т/км<sup>2</sup>.

В пересчете на душу населения удельный валовой выброс составил 0,147 т/чел. На уровне областей наиболее высокое значение данного показателя установлено для Витебской области (0,185 т/чел.), самое низкое – для Брестской (0,121 т/чел.).

Удельные выбросы по основным загрязняющим веществам, рассчитанные для страны в целом, представлены в табл. 5.8.

*Таблица 5.8. Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и мобильных источников на территории Беларуси в 2010 г.*

Удельный показатель	SO <sub>2</sub> (IV)	NO <sub>x</sub>	CO (II)	Углеводороды, включая НМЛОС	Твердые частицы
т/км <sup>2</sup>	0,32	0,79	3,36	1,77	0,33
т/чел.	0,007	0,017	0,074	0,039	0,007

Максимальные значения как на единицу площади, так и на душу населения характерны для оксида углерода. В пересчете на душу населения удельный валовой выброс составил 0,074 т/чел.

## 5.5.2. Литосфера

### 5.5.2.1. Экологическая химия почв

По данным Государственного земельного кадастра Беларуси, по состоянию на 01.01.2012 г. площадь земель страны составляет 20760,0 тыс. га.

В 2011 г. наибольшие площади в структуре земель занимали лесные и другие лесопокрытые земли, а также сельскохозяйственные земли, на долю которых приходилось соответ-

ственно 42,8 и 44,0% территории страны. Как и в предыдущие годы, в 2011 г. сохранилась тенденция к уменьшению площади сельскохозяйственных земель и увеличению лесных земель и земель под древесно-кустарниковой растительностью.

Наиболее важное значение для сельского хозяйства имеет состояние и качество почв. В почвах одновременно протекает множество процессов, зачастую противоположно направленных, что обуславливает стабильность системы. Многообразие химических соединений и реакций является главным условием устойчивости почв. В каждой природной зоне формируются почвы, имеющие особый химический состав и режимы, согласованные с экологической обстановкой или, по В.В. Докучаеву, соответствующие факторам почвообразования.

В почвах может происходить более 30 различных химических процессов в зависимости от состава почвенного раствора. Часть из них имеет общий характер для всех почв, часть присуща только отдельным почвенным типам. Общими для большинства почв процессами являются осаждение, растворение, катионный обмен, сорбция, комплексообразование, синтез и минерализация органических соединений, образование гуминовых веществ.

Количественными характеристиками состава и свойств почвенного раствора служат ионная сила, минерализованность, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал, титруемая кислотность (щелочность), активность и концентрация ионов (рН). Химические элементы могут находиться в составе почвенного раствора в форме свободных ионов, аквакомплексов, гидроксокомплексов, комплексов с органическими и неорганическими лигандами, в виде ионных пар и других ассоциатов.

Почвенные растворы разных типов почв имеют карбонатный, гидрокарбонатный, сульфатный или хлоридный анионный состав с преобладанием среди катионов Ca, Mg, K, Na. В зависимости от *степени минерализованности*, которую определяют по сумме сухих солей после выпаривания почвенного раствора (мг/л), почвы классифицируют на пресные (1), солоноватые (1–10) и соленые (10–25).

Все почвенные реакции, как и любые химические реакции, связаны с температурой воздуха и почвы. Повышение температуры ускоряет реакции, увеличивает растворимость твердых соединений, уменьшает растворимость газов и т.д. Повышение температуры в интервале 20–30 °С усиливает активность микроорганизмов.

Всю совокупность процессов в почве можно свести к определенным микропроцессам (как их назвал профессор А.А. Роде), например к процессам разрушения первичных минералов, унаследованных от материнской породы, процессам образования вторичных минералов в почве, синтезу и окислению гумусовых веществ, передвижению воды, процессам адсорбции и десорбции веществ на поверхности почвенных частиц, реакции обмена и замещения элементов в разных соединениях почвы и др.

Характер поведения веществ в наибольшей степени зависит от рН почвы. Природная кислотность почв может быть вызвана органическими кислотами, попадающими в почву с растительными остатками или корневыми выделениями, диоксидом углерода в почвенном воздухе и поступлением азотной и серной кислот с кислотными дождями. Почвам влажных регионов свойственны накопление кислых продуктов, развитие восстановительных процессов (глеобразование); в сухих южных районах нередко происходит накопление солей, а реакция почв зависит от содержания карбонатов кальция и регулируется карбонатно-кальциевым равновесием.

Чрезмерно высокая (выше 9) или низкая (ниже 4) гидролитическая кислотность почвы токсична для корней растений. В пределах этих значений рН определяет поведение отдельных питательных веществ, осаждение их или превращение в неусваиваемые растениями формы. В кислых почвах (рН 4,0–5,5) железо, алюминий, медь, цинк и марганец находятся в формах, доступных растениям, а их концентрация достигает токсического уровня. При этом затрудняется поступление в растения фосфора, калия, серы, кальция, магния, молибдена, снижается активность ферментов, ухудшаются свойства протоплазмы растений, что приводит к повреждению корневой системы растений. На кислой почве может наблюдаться повышенный отпад растений без видимых причин.

Напротив, в щелочных почвах (рН 7,5–8,5) железо, марганец, фосфор, медь, цинк, бор и большинство микроэлементов становятся менее доступными растениям. Оптимальным считается рН 6,5 – слабокислая реакция почвы. Это не ведет к недостатку фосфора и микроэлементов, большинство основных питательных веществ доступны растениям, т.е. находятся в почвенном растворе. Такая почвенная реакция благоприятна для развития полезных почвенных микроорганизмов, обогащающих почву азотом.

Однако высокая щелочность почв неблагоприятно сказывается на их химических и физических свойствах. Под действием щелочной среды почвы расплываются, теряют структурность, а затем при высыхании сливаются в плотные, очень прочные глыбы, которые часто не поддаются действию плуга. Таковы солонцы в зонах черноземных, каштановых и бурых почв.

**Гумификация** является одним из самых важных почвенных биохимических процессов. Сущность его заключается в трансформации растительных остатков в своеобразные, темноокрашенные органические гуминовые вещества преимущественно кислотной природы. В основе гуминовых веществ лежат бензолсодержащие фрагменты, их мобильная часть представлена большим набором аминокислот и моносахаридов. Они содержат азот и различные кислородсодержащие функциональные группы: карбоксильные –  $\text{COOH}$ , гидроксильные –  $\text{OH}$ , хинонные и др. Особенность гуминовых веществ заключается в высокой устойчивости к гидротермическим и биохимическим условиям; их возраст достигает сотен и тысяч лет, а молекулярные массы составляют десятки тысяч атомных единиц массы.

Функции гуминовых веществ в почвах разнообразны и чрезвычайно важны. Они аккумулируют элементы питания растений, защищают почвенные минералы от выветривания, способствуют миграции катионов различных металлов в форме комплексных соединений, регулируют тепловой и кислотно-щелочной режимы почв, влияют на емкость катионного обмена и на буферность почвы, обладают выраженной физиологической активностью и способны стимулировать рост и развитие сельскохозяйственных растений.

Ионообменные свойства почвы связаны с процессом эквивалентного обмена находящихся в почвенном поглощающем комплексе катионов и анионов взаимодействующего с твердыми фазами почвы раствора. Основная часть обменных анионов находится в почвах на поверхности гидроксидов железа и алюминия, которые в условиях кислой реакции имеют положительный заряд. В обменной форме в почве могут присутствовать анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_4^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2+}$ ,  $\text{HMoO}_4^-$ . Обменные фосфат-, арсенат- и сульфат-ионы могут содержаться в почвах в небольших количествах, так как эти анионы прочно поглощаются некоторыми компонентами твердой фазы почвы и не вытесняются в раствор при воздействии других анионов.

Обменные катионы находятся в обменных формах глинистых минералов и органического вещества, их состав зависит от типа почв. Поглощение анионов почвами в неблагоприятных условиях может приводить к накоплению многих токсических веществ. Эти реакции очень важны, поскольку от состава обменных катионов и их количества зависят почвенное плодородие, многие физические и химические свойства почв и способность противостоять химическому загрязнению почв.

Кроме того, в почве протекают процессы, от которых напрямую зависит жизнь на нашей планете. У каждого из обитающих в этой жизненной нише живых существ своя роль, но самое существенное влияние оказывают микроорганизмы, участвуя в формировании главного свойства почвы – плодородия.

Сообщество множества различных микроорганизмов, обитающих в почве, объединено одним общим понятием – *почвенная микрофлора*. Основная ее функция – участие в круговороте веществ, в том числе в процессах превращения кислорода, углерода, азота, фосфора, серы, железа и других важнейших элементов. Одни микроорганизмы разлагают органические вещества, способствуют образованию гумуса, делают доступными для растений питательные вещества. Другие связывают атмосферный азот, создавая органические соединения. Следующие переводят эти соединения в доступные для растений формы. Эти невидимые труженики при определенных условиях способны разлагать даже минералы, и в первую очередь практически неисчерпаемые глинистые минералы.

Именно почвенные микроорганизмы дают основную массу углекислого газа, который крайне нужен для роста зеленой массы растений, и являются важнейшим объектом питания для более крупных организмов, необходимых в почве (червей и др.). В результате их жизнедеятельности почва становится структурной, рассыпчатой, что в решающей степени определяет ее водно-воздушный режим. Почвенные микроорганизмы способствуют перемещению веществ по профилю почвы, тщательному перемешиванию ее органической и минеральной частей, что существенно повышает плодородие.

Жизнедеятельность микрофлоры позволяет длительное время сохранять естественное плодородие обрабатываемой человеком земли и даже приумножать его.

Микроорганизмы выполняют важную роль в обезвреживании почвенной массы почти от всех органических и неорганических загрязнителей (разложение пестицидов, минеральных удобрений, окисление угарного газа и т.д.), таким образом способствуя ее оздоровлению. Они являются основой поддержания оптимального питательного режима (частичное закрепление минеральных удобрений с последующим освобождением по мере роста и развития растений), оструктурирования почвы, устранения в ней неблагоприятных экологических условий.

По общей массе почвенные микроорганизмы составляют большую часть микроорганизмов нашей планеты. Они разнообразны по составу и биологической деятельности. Это бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли и простейшие. Суммарная их масса только в поверхностном горизонте достигает нескольких десятков тонн на 1 га, а численность измеряется миллионами и миллиардами в 1 г почвы. В целом для планеты масса почвенных микроорганизмов составляет 0,01–0,1% от всей биомассы суши. Микробная биомасса в разных почвах колеблется от единиц до нескольких десятков тонн на 1 га, причем на долю грибов приходится от 88 до 99% биомассы, а доля бактерий составляет 1–12%. Доля живого мицелия – от 50% в нижних горизонтах до 85% в подстилке. Жизнеспособность спор составляет 70–100%.

Большое значение в почве имеют бактерии, роль которых весьма разнообразна. Особенно следует отметить способность некоторых групп бактерий поглощать из воздуха азот и переводить его в доступную для усвоения растениями форму. Этот процесс получил название *фиксации азота*. Полученный таким путем азот наиболее безопасен для человека, так как он не накапливается в плодах в виде нитратов.

В почве есть две группы азотфиксирующих бактерий. Одни, так называемые клубеньковые, могут развиваться только на корнях различных бобовых растений, другие же свободно живут в почвенной среде. Деятельность клубеньковых бактерий гораздо эффективнее – в умеренных широтах при благоприятных условиях количество азота, связываемого этими бактериями, может достигать 200–300 кг на 1 га почвы.

Еще одна не менее важная роль бактерий – разложение колоссального количества мертвого органического вещества, поступающего в почву, и освобождение химических элементов, прочно связанных в составе органических остатков. В результате деятельности бактерий эти химические элементы снова становятся доступными для усвоения растениями.

Содержание бактерий в почве неравномерно: в самом верхнем горизонте содержится наибольшее их количество, ниже количество бактерий резко уменьшается. Численность бактерий сильно возрастает в непосредственной близости к корням растений. Эти своеобразные бактериальные чехлы вокруг корней называются *ризосферой*. Бактерии ризосферы играют важную роль в питании высших растений.

Таким образом, любая почва имеет очень сложный химический состав как по набору и количественному соотношению химических элементов, так и по формам их соединений. Наиболее активную химическую роль в почвах играют те вещества, которые находятся в высокодисперсном состоянии (ил, плазма). К ним относятся гуминовые вещества, слоистые глинистые минералы, ионные и молекулярные дисперсии.

Для улучшения качества почвы для сельскохозяйственного производства проводят систему мероприятий, называемую *мелиорацией*. Она включает осушение, орошение, окультуривание пустошей, заброшенных земель и болот. В результате проведения гидротехнической мелиорации в нашей стране уже потеряно много водно-болотных угодий, что способствовало процессу вымирания отдельных видов растений.

Мелиорации сопутствует так называемое вторичное засоление почв, происходящее вследствие искусственного изменения водно-солевого режима, чаще всего при неправильном орошении, реже – при неумеренном выпасе на лугах, при неправильном регулировании паводков, неправильном осушении территории и т.д.

**Засоление** – это накопление в почвах легкорастворимых солей. В естественных условиях оно происходит за счет выпадения солей из засоленных грунтовых вод или в связи с эоловым привносом солей из морей, океанов и с территорий, где широко распространены соленые озера. На орошаемых массивах существенным источником солей могут быть оросительные воды и выпадение солей в почвенной толще из минерализованных грунтовых вод, уровень которых при орошении часто поднимается. При недостаточном дренаже вторичное засоление может иметь катастрофические последствия, так как обширные массивы земель становятся непригодными для земледелия из-за большого накопления солей в почвах, сопровождающегося загрязнением почв тяжелыми металлами, пестицидами, гербицидами, нитратами и соединениями бора.



### 5.5.2.2. Деградация почв

Природные условия Беларуси (относительно большое количество осадков, расчлененный рельеф, а также распаханность территории) способствуют проявлению и развитию процессов деградации, которыми охвачено свыше одной трети сельскохозяйственных угодий.

**Деградация земель** – это процесс снижения качества земель в результате вредного антропогенного и (или) природного воздействия. Деградация и полное разрушение почвы могут происходить как в результате природных явлений (изменение климата, вулканическая деятельность, ливни, ураганы и т.д.), так и в результате хозяйственной деятельности человека. Одним из процессов деградации является эрозия почв.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, общая площадь сельскохозяйственных земель, подверженных деградации в результате эрозионных процессов, составляет около 556,5 тыс. га, или 6,3% сельскохозяйственных земель страны, из них на долю пашни приходится 479,5 тыс. га, или 8,7% всех пахотных земель.

**Эрозия** – это процесс разрушения горных пород и почв водными потоками и ветрами. Она может быть в виде плоскостной (поверхностной), струйчатой (линейной) и овражной, а также в виде массовых оползней.

По данным крупномасштабных почвенных исследований, эродированные и эрозионноопасные почвы на сельскохозяйственных землях республики занимают более 4 млн га. Наиболее эрозионноопасными являются северная и центральная части страны, имеющие повышенный и более пересеченный рельеф, где распространены моренные и лёссовидные суглинки, а также связные супеси, подстилаемые моренными суглинками. В этой части страны развивается преимущественно водная эрозия. Южная часть Беларуси характеризуется преобладанием почв более легкого гранулометрического состава с хорошей водопроницаемостью, что при равнинном рельефе создает опасность проявления ветровой эрозии.

Доля водной эрозии почв в республике составляет 84%, ветровой – 16%. Эродированные почвы находятся преимущественно на пахотных землях (86,2%).

Эрозионные процессы приносят существенный экономический ущерб экономике республики. Многолетние исследования Института почвоведения и агрохимии Национальной ака-



демии наук Беларуси показали, что с каждого гектара склоновых земель ежегодно смывается до 15 т, а на открытых массивах осушенных торфяников и легких (песчаных) почв переносится ветром до 10 т верхнего плодородного слоя почвы. Ежегодные потери гумуса при этом достигают 180 кг/га, азота – 8–10, фосфора и калия – 5–6 кг/га.

Кроме того, в связи со смывом и выветриванием верхнего плодородного слоя почвы, постоянным ее перепаживанием деградируют и нижележащие почвенные горизонты, что приводит к резкому ухудшению водно-физических, физико-химических, биологических и агрохимических свойств. Производительная способность в разной степени эродированных почв на 15–50% ниже, чем незеродированных. Недобор урожая сельскохозяйственных культур на них составляет от 12–40% зерновых, 20–60 пропашных, 15–40 льна, 5–30% многолетних трав.

Эрозия наносит большой вред и окружающей среде, так как в результате смыва и выветривания верхнего слоя почв происходит заиление водных объектов республики, в них попадают удобрения, пестициды и другие средства химической защиты сельскохозяйственных растений. Кроме вышеперечисленных факторов на состояние земельных ресурсов в республике большое влияние оказала интенсивно проводимая в 60–80-е гг. XX в. мелиорация.

Мелиорация земель значительно нарушила водный баланс поверхностных, а главное, подземных вод, изменила их количество и качество. Интенсификация сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях привела к механическому разрушению легких торфянистых почв, пересушенным в результате отвода питающих их подземных вод, загрязнению почвы, водоемов и воздушного бассейна пестицидами, ядохимикатами, минеральными удобрениями, исчезновению традиционных для этих районов биоценозов.

В настоящее время в республике мелиорировано 3425,7 тыс. га (16,5% всей территории).

Между продуктивностью земледелия и плодородием почвы объективно существует противоречие: чем больше мы берем с гектара продукции, тем выше вынос питательных веществ. Например, урожай в 1 т зерновых в среднем выносит 65 кг основных действующих веществ. Это противоречие можно преодолеть только восполнением и наращиванием энергетического потенциала почв, внесением органических, минеральных веществ, микроэлементов.

Значение *химизации* сельского хозяйства в связи с этим трудно переоценить: оно позволяет повышать плодородие почв, улучшать кислые и засоленные земли, лучше сохранять и повышать питательную ценность кормов и т.д.

*Азот* оказывает влияние на фотосинтез растений, которое состоит в использовании его при синтезе аминокислот. Азот также необходим для образования зеленых пигментов в растении (хлорофилла) и для синтеза белков – элементов структуры хлоропластов, ферментов, ответственных за различные реакции фотосинтеза. Стимулирует рост вегетативной массы растений, определяет уровень урожайности и качества продукции.

Действие *фосфора* (фосфорные удобрения) на фотосинтез растений заключается в том, что остатки фосфорной кислоты входят в состав акцептора – соединения, связывающего  $\text{CO}_2$  и промежуточные продукты фотосинтеза. С помощью световой энергии из неорганического фосфата и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) синтезируется аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), участвующая в реакциях восстановления  $\text{CO}_2$ . Фосфаты также входят в состав фосфатидов и фосфопротеидов, нуклеиновых кислот.

Фосфор оказывает стимулирующее влияние на развитие корневой системы, формирование репродуктивных органов, ускоряет созревание. У озимых культур фосфорные удобрения повышают зимостойкость, на 15–20% снижают расход воды на единицу урожая.

*Калий* способствует накоплению растениями сахаров, что предохраняет озимые культуры от вымерзания, повышает прочность соломины и устойчивость к поражению корневыми гнилями и ржавчиной, ускоряет передвижение углеводов из стеблей и листьев в колос, увеличивая массу зерна.

Химизация сельского хозяйства, проводящаяся нарастающими темпами, занимает далеко не последнее место в ряду антропогенных факторов, воздействующих на почвы и на природу в целом.

В результате интенсивного использования удобрений в природной среде рассеивается ряд химических элементов, что приводит к нарушению круговорота веществ.

Промышленный синтез азотных удобрений и их рассеивание по поверхности земли вносит серьезные изменения в его биогеохимический круговорот. Увеличение количества азота в природных средах за счет деятельности человека – опасное явление, так как вводимые в избытке нитраты не полностью де-

нитрифицируются, а отсюда равновесие между процессами нитрификации и денитрификации нарушается. Нитраты аккумулируются в почве, гидросфере, растениях, а в дальнейшем в пищевых продуктах, тем самым вызывая тяжелые отравления.

В отличие от азота фосфор характеризуется малой подвижностью, он почти полностью закрепляется в почве, обогащая ее. Вместе с тем фосфорные удобрения могут вызывать и отрицательные явления в виде накопления сопутствующих фторидов, токсичных для человека и животных.

Подобные явления наблюдаются и при использовании калийных удобрений. Большинство их содержит значительные количества хлора, который зачастую накапливается в почве и отрицательно влияет на ее агрофизические свойства. Заметное увеличение содержания цинка и фтора в почвах связано с применением фосфорных удобрений, в состав которых входят данные элементы.

Дополнительное внесение минеральных удобрений нередко способствует загрязнению почв тяжелыми и токсическими металлами, которые через корм животных попадают в пищу человека. Таким образом, загрязняющие вещества оказывают и прямое влияние (разрушение и уменьшение урожая), и косвенное (аккумуляция этих веществ в почве, организмах животных и пищевых продуктах).

*Пестициды*, применяемые в сельском хозяйстве, относятся к различным классам главным образом органических соединений (хлорорганические, фосфорорганические, симметричные триазины, гетероциклические соединения и др.). Они обладают токсичностью не только для вредных организмов, но и человека, животных, несут опасность для окружающей среды. Пестицид, каким бы он ни был, неизбежно вызывает глубокие изменения всей экосистемы, в которую его внедрили. По совокупности экологических свойств, присущих всем пестицидам, действия их никогда не бывают однозначными, так как они обладают широким спектром действия, чрезвычайно токсичны для живых организмов, сохраняются длительное время в окружающей среде. Стабильность пестицидов опасна последствиями, которые еще более усугубляют проблемы, связанные с этим видом загрязнения.

Пестициды распространяются далеко за пределами тех агроэкосистем, где они применяются. Даже в случае использования наименее летучих компонентов более 50% активных веществ в момент воздействия переходит прямо в атмосферу.

В почву пестициды поступают различными путями: при непосредственном внесении их для уничтожения почвообитающих вредителей, сорняков; с протравленными семенами; при сносе препаратов при обработке посевов во время вегетации полевых культур; при неосторожном выполнении различных операций с химическими препаратами (расфасовка, приготовление рабочих растворов, транспортировка и т.д.); с осадками; с оросительными, коллекторно-дренажными и сточными водами; с частицами почвы при ветровой эрозии и т.д.

Пестициды прямо или косвенно влияют на доступность питательных элементов, которые, в свою очередь, воздействуют на персистентность химических средств защиты растений непосредственно химическим способом или изменением микробиологических процессов.

После применения пестицидов в сельском хозяйстве значительная часть их вымывается из почвы и попадает в водоемы. Они могут ухудшать вкус, запах и цвет пресной воды. Установлено, что до 25% применяемых пестицидов попадает в водные экосистемы. Водный дренаж с полей, обработанных пестицидами, загрязняет не только небольшие водоемы и реки. Многие пестициды устойчивы в водной среде и могут накапливаться в отдельных органах животных, в высших водных растениях. Водные организмы способны концентрировать пестициды, в большей или меньшей степени становясь источниками распространения их по трофическим цепям. Наибольшим коэффициентом кумуляции характеризуются водные беспозвоночные, особенно личинки некоторых насекомых и ракообразных.

Таким образом, применение пестицидов влечет за собой отрицательные последствия для отдельных видов и биоценозов в целом.

С экологической точки зрения различают несколько форм воздействия пестицидов. Первая категория форм воздействия называется *демэкологической* и выражается совокупностью нарушающих воздействий на уровне популяций отдельных видов, чувствительных к какому-либо фитосанитарному веществу. Последствия подобных воздействий проявляются быстро и обусловлены повышенной токсичностью таких веществ для видов растений и животных. Вымирание определенной части особей, входящих в состав зараженной популяции, прямо пропорционально дозе примененного вещества.

Другие демэкологические эффекты от использования пестицидов характеризуются замедленным действием. Например, есть пестициды, обладающие свойством накапливаться в пищевой цепи до тех пор, пока животное – пищевой объект хищника – не достигнет критического порога, с которого начинается хроническая интоксикация.

Помимо высокого уровня смертности вследствие хронической интоксикации имеется и другая форма влияния пестицидов на биологические виды, не столь явная, но не менее вредная, которая выражается в уменьшении биотического потенциала вида.

Хроническая интоксикация может изменить коэффициент рождаемости путем снижения обычной плодовитости, или снижения выживаемости яиц и молодняка, или в связи с действием указанных факторов одновременно. Эти отрицательные влияния сказываются на биотическом потенциале и в худшем случае могут привести к полной бесплодности популяции, подвергшейся интоксикации.

Наряду с демэкологическими воздействиями пестицидов различают и *биоценотические* воздействия. Если какое-то животное абсолютно нечувствительно к данному пестициду, все же численность его популяции может значительно уменьшиться из-за уничтожения тех растений или животных, которые служат ему добычей или пищей. Разрушение гербицидами растения-хозяина исключает из экосистемы тех насекомых и других беспозвоночных, для которых это растение служило пристанищем и на котором они паразитировали.

Другие экологические последствия применения пестицидов характеризуются возрастанием численности популяций, плотность которых до применения пестицидов была относительно небольшой. Рост численности популяции может быть обусловлен исчезновением конкурирующего вида, имеющего аналогичные требования к корму и условиям гнездования, или подавлением хищников и паразитов.

Применение пестицидов вызывает необратимые потрясения структуры биоценоза, часто называемого *нарушением биологического равновесия*. Иногда оно, как это ни парадоксально, проявляется в увеличении численности той популяции, которую собирались уничтожить.

Интенсивным источником загрязнения почвы являются города с развитым транспортно-промышленным комплексом. Содержание загрязняющих веществ в почвах городов изменя-

ется в широких пределах: от значений, близких к фоновым в районах новостроек, до концентраций, в десятки раз превышающих фоновые в зонах влияния промышленных предприятий и в старообжитых районах городов.

Наибольшие зоны техногенного влияния характерны для крупных стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Например, тепловая электростанция (ТЭЦ) при сжигании 3 млн т угля в год формирует зону загрязнения площадью до 400 км<sup>2</sup>, причем высокий и опасный уровень выпадения загрязняющих веществ на почву наблюдается на территории 75–120 км<sup>2</sup>. Для ТЭЦ, работающих на мазуте, выпадения ванадия прослеживаются на расстоянии до 15 км в сторону господствующего направления ветра.

Распределение загрязняющих веществ в почвах зависит от биоклиматических, геоморфологических и почвенно-химических условий.

Почвы республики в результате катастрофы на ЧАЭС оказались в той или иной степени загрязнены радиоактивными элементами. После катастрофы 23% территории Беларуси с 3688 населенными пунктами, в которых на момент аварии проживало более 2 млн человек, было загрязнено радионуклидами с плотностью более 1 Ки/км<sup>2</sup> (по <sup>137</sup>Cs). На 01.01.2010 г. такие территории составляют 1,2% общей площади страны.

Радиоактивное загрязнение почв распространилось по всем областям республики. Наиболее пострадавшими в этом плане являются Могилевская и Гомельская области.

Загрязнение почв республики носило неравномерный характер. На сравнительно небольших площадях отмечались высокие градиенты загрязнения почв, рядом лежащие участки оставались практически чистыми.

Кроме непосредственного загрязнения почв радионуклидами после катастрофы на ЧАЭС к настоящему времени обнаружено выраженное вторичное загрязнение почв. Источником вторичного техногенного загрязнения почв радионуклидами является применение загрязненного навоза и минеральных удобрений, золы после сжигания загрязненного топлива, в основном дров и торфобрикета.

Основные изотопы, которые будут определять радиационную обстановку на территории республики в ближайшие 20 лет, – это <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239</sup>Pu, <sup>241</sup>Am. Исследования показывают, что основное количество <sup>137</sup>Cs в различных типах почв продолжает оставаться в верхнем (7–10 см) слое.

Считается, что для полного восстановления функций биосферы после радиоактивного вмешательства требуется не менее двух полных периодов полураспада наиболее долгоживущего радиоизотопа, выпавшего на почву.

### 5.5.3. Гидросфера

#### 5.5.3.1. Водопотребление и водоотведение

Водные ресурсы Республики Беларусь представлены совокупностью рек, озер, водохранилищ, грунтовых и подземных вод. Реки, озера и пруды относятся к возобновляемым водным ресурсам. Формируются водные ресурсы республики в основном за счет атмосферных осадков и перетока поверхностных вод с сопредельных территорий.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод страны в целом оцениваются в 49 596 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В настоящее время разведано 13% прогнозных ресурсов. Потенциальные возможности использования подземных вод характеризуются их естественными ресурсами, которые составляют 43 560 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Наибольшее количество пресной воды используется на *бытовое, производственное и сельскохозяйственное водопотребление*.

В нашей стране основными водопотребителями являются жилищно-коммунальное хозяйство и промышленность, причем на хозяйственно-бытовые нужды идет основная масса забираемой воды.

Суммарный объем забора поверхностных и подземных вод, по данным водного кадастра в 2012 г. составил 1641 млн м<sup>3</sup> и по сравнению с 2011 г. увеличился на 3 млн м<sup>3</sup>. Количество воды, изъятый из поверхностных источников, составляло 743 млн м<sup>3</sup>, а из подземных вод – 898 млн м<sup>3</sup>.

Всеми отраслями экономики Беларуси в 2012 г. использовано 1442 млн м<sup>3</sup> свежей воды. При этом на хозяйственно-питьевые нужды израсходовано 34% общего количества использованной воды, на производственные – 30%, прудовое рыбное хозяйство – 28%, сельскохозяйственное водоснабжение – около 8%, на орошение – 0,4%.

Удельное водопотребление в целом для страны составило 392 л/сут/чел., при этом на хозяйственно-питьевые нужды ис-



пользовано в среднем 143 л/сут/чел. (от 137 л/сут/чел. в Могилеве до 172 л/сут/чел. в Гродно). Самое высокое удельное водопотребление отмечено в Минске (184 л/сут/чел.).

В свою очередь, высокий уровень водопотребления предприятий обуславливает образование больших объемов сточных вод. В 2012 г. в водные объекты страны отведено 993 млн м<sup>3</sup> сточных вод, из которых 665 млн м<sup>3</sup> являются нормативно-очищенными (в основном на сооружениях механической очистки), 3,5 млн м<sup>3</sup> – недостаточно очищенными и 323 млн м<sup>3</sup> – не требующими очистки.

Для поверхностных вод определяются более 50 показателей качества и наличия ингредиентов, в том числе газовый и солевой состав, биогенные компоненты и основные загрязняющие вещества, тяжелые металлы, присутствие которых обусловлено поступлением в водные объекты сточных вод. Сточные воды предприятий и коммунального хозяйства являются основными источниками загрязнения природных вод.

Наиболее распространенными и неблагоприятными веществами, загрязняющими поверхностные водоемы Беларуси, являются нитритный, нитратный и аммонийный азот, легко окисляемые органические вещества, нефтепродукты и цинк. По всем этим веществам на протяжении многих лет наблюдается значительное превышение ПДК поверхностных и подземных вод.

В последние годы отмечается стойкое увеличение индекса загрязнения воды (ИЗВ) по всем рекам республики, что на фоне сокращения сброса сточных вод вызывает большую тревогу.

Как показывают исследования, качество подземных вод большинства водоносных горизонтов и комплексов республики соответствует нормативным требованиям. Однако на участках размещения водозаборных скважин в селитебной зоне населенных пунктов и городов, ферм, в районе очистных сооружений, свалок, отвалов промышленных предприятий, прудов-отстойников выявлено загрязнение подземных вод. Ухудшение их качества выражается в увеличении общей минерализации, содержания соединений азота, хлоридов, тяжелых металлов; появлении нефтепродуктов, фенолов, неприятно пахнущих и легкоокисляемых органических веществ.

Анализ данных радиоактивного мониторинга показал, что за период 1991–2012 гг. концентрация <sup>137</sup>Cs в воде контрольных точек значительно ниже допустимой концентрации (ДК).



Максимальные накопления радионуклидов находятся в непроточных местах (заводы, прибрежная зона), в донных отложениях, откуда они активно вымываются и транспортируются на взвешенных частицах по руслу рек. По степени радиоактивного загрязнения компоненты водных систем располагаются в следующем порядке: донные отложения > гидробионты > вода.

Таким образом, качество природных вод в республике в первую очередь связано со сбросами в них неочищенных или условно чистых сточных вод, поступлением ливневых и талых вод с урбанизированных территорий, сельскохозяйственных угодий и других источников загрязнения, не имеющих систем водоотведения и очистки.

### **5.5.3.2. Трансформация загрязняющих веществ в гидросфере**

Вода обладает способностью растворять многие вещества, имеет высокую диэлектрическую постоянную, способна к самопроизвольной электролитической диссоциации с образованием ионов:



Эти свойства воды позволяют из любой природной системы получить водный раствор электролита, в котором возможно протекание многих процессов, невозможных в безводной среде. Многие вещества вступают с водой в реакцию гидролиза. Изменение физических свойств водных растворов почти линейно зависит от концентрации растворенных в ней солей.

В зависимости от водопользования воды могут быть питьевые, речные, озерные, артезианские, смешанные и др.

*Питьевая вода* – это вода, в которой бактериологические, органолептические показатели и концентрации токсических химических веществ находятся в пределах норм питьевого водоснабжения (отсутствие запаха, вкуса, цвета, минерализация не более 1 г/л, жесткость не должна превышать 7,0 ммоль/л, рН в пределах 6,5–9,5, концентрация нитрат-иона не более 45–50 мг/л, колииндекс не более 3, колититр не менее 300).

Состав *речных и озерных вод* зависит от ряда особенностей, к которым относятся скорость течения, геологические особенности местности, климатические и погодные условия, интен-

сивность воздействия на ионный и газовый состав биологических процессов и хозяйственной деятельности человека.

Состав *артезианских вод* зависит от зональности – от пресных гидрокарбонатных в верхней части до высокоминерализованных хлоридных в глубоких частях бассейна.

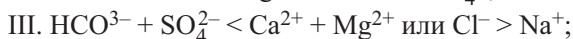
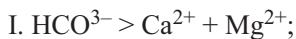
Под *смешанными водами* подразумеваются дождевая, колодезная, кипяченая вода и вода из устьев рек (солончатая). Другая классификация подразделяет все воды на морские, поверхностные, подземные и осадки.

Классификации природных вод по химическому составу основываются на самых различных признаках: минерализации, концентрации преобладающего компонента или групп их, соотношении между концентрациями разных ионов, наличии повышенных концентраций каких-либо специфических компонентов газового ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  и др.) или минерального состава.

По преобладающему аниону природные воды делятся на три класса:

- 1-й класс – гидрокарбонатные и карбонатные воды (большинство маломинерализованных вод рек, озер, водохранилищ и некоторые подземные воды);
- 2-й класс – сульфатные воды (промежуточные между гидрокарбонатными и хлоридными водами, генетически связаны с различными осадочными породами);
- 3-й класс – хлоридные воды (высокоминерализованные воды океана, морей, соленых озер, подземные воды закрытых структур и т.д.).

Каждый класс по преобладающему катиону подразделяется на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. Каждая группа в свою очередь подразделяется на четыре типа вод, определяемых соотношением между содержанием ионов в процентах в пересчете на количество вещества эквивалента:



Воды I типа образуются в процессе химического выщелачивания изверженных пород или при обменных процессах ионов кальция и магния на ионы натрия и являются маломинеральными.

лизованными. Воды II типа – смешанные, к ним относятся воды большинства озер, рек и подземные воды с низкой и умеренной минерализацией. Воды III типа метаморфизированные, включают часть сильноминерализованных природных вод или вод, подвергшихся катионному обмену ионов натрия на ионы кальция и магния. К этому типу относятся воды морей, океанов, морских лиманов, реликтовых водоемов. К IV типу относятся кислые воды – болотные, шахтные, вулканические или воды, сильно загрязненные промышленными стоками.

*Соленостью* принято называть сумму концентраций всех растворенных в воде минеральных веществ. Наиболее часто соленость воды выражается в граммах на 1 кг, или в промилле (‰)\*.

По степени солености все природные воды, согласно Венецианской системе, подразделяют на пресные (до 0,5‰), миксогалинные или солоноватые (0,5–30‰), олигогалинные (0,5–5‰), мезогалинные (5–18‰), полигалинные (18–30‰), эугалинные или морские (30–40‰), гипергалинные, или пересоленные (более 40‰).

К пресным водоемам относятся реки и большинство озер, к эугалинным – Мировой океан, к миксогалинным и гипергалинным – некоторые озера и отдельные участки Мирового океана. Например, Финский залив по международной классификации является солоноватоводным или (в западной части) мезогалинным водоемом.

Загрязнение гидросферы происходит с нарастающей скоростью. При прохождении через гидрологический цикл вода загрязняется взвешенными и растворенными веществами – как природными компонентами, так и отходами человеческой деятельности.

Промышленные сточные воды классифицируют по дисперсионному составу загрязняющего вещества. В соответствии с этой классификацией выделяют следующие группы сточных вод:

- содержащие нерастворимые в воде примеси с величиной частиц более  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  м;
- представляющие собой коллоидные растворы;
- содержащие растворенные газы и молекулярно-растворимые вещества;
- содержащие вещества, диссоциирующие на ионы.

---

\* ‰ – промилле – тысячная доля числа, или десятая часть процента.

Такая классификация позволяет предложить для каждой группы определенные методы очистки сточных вод.

Поступающие в реки, озера, водохранилища и моря загрязняющие вещества вносят значительные изменения в установившийся режим и нарушают равновесное состояние водных экологических систем, несмотря на то что водоемы способны к самоочищению путем биохимического распада органических веществ под действием микроорганизмов.

Самоочищающая способность водоемов зависит от запаса растворенного кислорода, гидродинамических и биохимических процессов, солнечной радиации, жизнедеятельности растительных и животных организмов и др. Эти процессы интенсифицируются летом, замедляются зимой и зависят от кратности разбавления сточных вод.

Для нормального протекания процесса самоочищения прежде всего необходимо наличие в водоеме запаса растворенного кислорода. Насыщенность им воды требуется для окислительного разложения большинства примесей. Химическое или бактериальное окисление органических веществ приводит к снижению концентрации растворенного в воде кислорода. Влияние дезоксигенизирующих (снижающих содержание кислорода) агентов выражается в замене нормальной флоры и фауны водоемов примитивной, приспособленной к существованию в анаэробных условиях. Органические вещества, взаимодействуя с растворенным кислородом, окисляются до углекислого газа и воды, потребляя различное количество кислорода.

Одним из важнейших показателей способности водоема к самоочищению является соотношение форм азота. Резервуаром азота в биосфере является атмосфера. В результате ряда превращений он переходит в форму, участвующую в образовании аминокислот и протеинов. В природных водах содержание ионов аммония не превышает 0,1 мг/л, нитрит-ионов – 0,001–0,01 мг/л и нитрат-ионов – 0,01–0,5 мг/л. Это соотношение меняется по сезонам года: летом нитрат-ионы составляют сотые доли мг/л, осенью и зимой – несколько десятых мг/л, что объясняется значительным употреблением нитратов растениями.

В результате загрязнения водоемов хозяйственно-бытовыми и производственными сточными водами количество азота в воде по сравнению с природным его содержанием может возрастать в сотни и тысячи раз.

Превращение разных форм азота осуществляется в водоеме различными микроорганизмами (рис. 5.8).

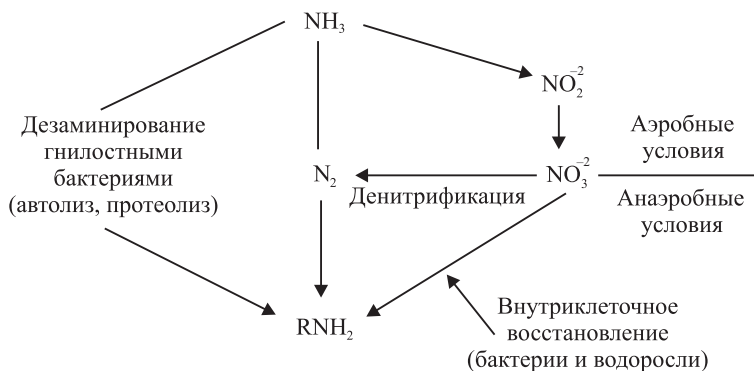
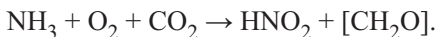


Рис. 5.8. Превращение форм азота в водоеме (по М.М. Телитченко и К.А. Кокину)

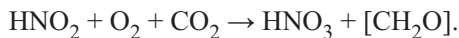
Аммиак накапливается в воде в процессе дезаминирования в результате протеолиза белков растительного и животного происхождения, осуществляемого гетеротрофными (аммонифицирующими) бактериями в аэробных и анаэробных условиях и вследствие автолиза клеток. Затем аммиак окисляется микроорганизмами до нитратов – основы питания растений. Этот процесс называется *нитрификацией*.

Процесс нитрификации протекает в две фазы и в аэробных условиях осуществляется двумя группами бактерий.

Первая (*p. Nitrosomonas*) характеризуется способностью окислять аммиак до нитритов:



Вторая (*p. Nitrobacter*) – окислять органическое вещество до нитратов:

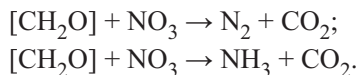


Энергия, выделенная при окислении аммиака и нитритов, используется нитрификаторами для ассимиляции углекислого газа и других процессов жизнедеятельности. Таким образом, гнилостные бактерии и нитрификаторы осуществляют процесс самоочищения водоема.

Все микроорганизмы, накапливающие азот, способствуют эвтрофикации водоема, что бывает нежелательно для водопользователей. *Эвтрофикация* – это повышение биопродуктивности водоема в результате накопления в воде биогенных веществ под воздействием природных и, главным образом, ан-

тропических факторов. В результате усиленного развития в водном объекте растений и микроорганизмов и затем их гибели ухудшаются физико-химические свойства воды: уменьшается ее прозрачность, вода приобретает зеленый или желто-бурый цвет, появляются неприятный вкус и запах, повышаются значения рН, в осадок выпадает карбонат кальция и гидроксид магния, наблюдается дефицит кислорода и возникают заморные явления.

Восстановление нитратов в анаэробных условиях осуществляется в водоеме весьма неоднородная в физиологическом отношении группа микроорганизмов-денитрификаторов. Однако общим для них является способность использования в анаэробных условиях нитрат-иона в качестве конечного акцептора электронов при окислении разных органических субстратов и молекулярного водорода:



В процессе денитрификации нитраты восстанавливаются до аммиака или молекулярного азота. Процессу денитрификации препятствует наличие растворенного кислорода. По наличию в водоеме азота в той или иной форме можно судить о степени органического загрязнения вод и об интенсивности их самоочищения. Присутствие в воде ионов аммония и нитритов часто является признаком недавнего загрязнения, а нитрат-ионов – признаком более раннего загрязнения воды.

В отличие от азота круговорот фосфора является односторонней системой с движением из литосферы в гидросферу, а в ней – в осадки. Но при увеличении сброса фосфорсодержащих отходов воды становятся насыщенными по фосфатам, и последствия этого явления до сих пор неясны из-за сложности определения скорости гидролиза конденсированных полифосфатов.

Существенную роль в развитии эвтрофикации водоемов играет сельское хозяйство. Смываемые с почвы и поступающие в водоемы и подземные воды минеральные удобрения и отходы животноводства нарушают природное равновесие существующих экосистем, приводят к бурному росту водорослей, что вызывает зарастание каналов, рек, озер, водохранилищ, особенно слабопроточных, приводит к гибели водоемов, превращая их в болото.

Большой вред приносят смываемые с полей, орошаемых массивов, лесных почв пестициды, которые не поддаются биологическому распаду и сохраняются на протяжении многих лет в пресной и морской воде. Они вызывают гибель обитателей водоемов на ранних стадиях развития, различные мутации и вырождение особей.

Особенно опасны хлорорганические пестициды, обладающие наибольшей способностью накапливаться в организме гидробионтов, что может приводить к летальному исходу. Большинство фосфорорганических пестицидов накапливается в воде и рыбе в значительных количествах. Разложение пестицидов под действием микроорганизмов в донных отложениях происходит наиболее быстро в тех случаях, когда образуются гидрофильные метаболиты.

Сточные воды металлургических, химических, машиностроительных и других предприятий загрязняют водоемы солями тяжелых металлов, травильными растворами, железом, цинком и другими неорганическими веществами, многие из которых являются сильнейшими ядами. Тяжелые металлы (Pb, Hg, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, Sn, Cr) и другие токсические вещества прогрессивно накапливаются в пищевых цепях, конечным звеном которых является человек, а также накапливается в иловых отложениях.

### **5.5.4. Состояние биологических ресурсов**

Биота Беларуси представлена лесной (7,8 млн га), луговой (3,3 млн га), болотной (0,92 млн га), кустарниковой (0,49 млн га) и водной (0,48 млн га) растительностью.

Растительный покров Беларуси имеет переходный характер от евроазиатской хвойно-лесной зоны к европейской широколиственно-лесной и лесостепной. Древесные растения представлены более чем 100 видами деревьев и кустарников.

Леса занимают 39,8%, а болота – около 11,5% территории (1,7 млн га). Наибольшие площади этих уникальных природных комплексов находятся в Брестской и Минской областях.

Современная флора Беларуси представлена различными группами растений: сосудистые – около 1700 видов, водоросли – около 2000, лишайники – около 460, мохообразные – около 450, грибы – около 7000 видов. Всего в Беларуси произрастает около 12 000 видов растений и грибов.

*Лесные ресурсы* формируются в процессе жизнедеятельности лесов и представлены древесными ресурсами и множеством других растительных организмов. *Древесные ресурсы* расположены на 9,4 млн га и оцениваются в 1,1 млрд м<sup>3</sup>, причем надземная часть древесной растительности в пересчете на воздушно-сухую массу составляет 756,1 млн т (84%). Основной удельный вес в биологическом запасе лесов приходится на хвойные породы (70,7%), в том числе сосновые – 59,3%, еловые – 11,4%. На долю широколиственных пород приходится 3,8%, а мелколиственных – 25,5%. Растения являются ресурсами пищевыми, кормовыми, лекарственного сырья, подсобных промыслов. Наиболее существенная роль отводится растениям как пищевым и кормовым ресурсам.

Возросшее давление антропогенных факторов отрицательно сказывается на состоянии флоры Беларуси. Осушительная мелиорация, применение минеральных удобрений и ядохимикатов, внедрение в фитоценозы чуждых им организмов, загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы значительно изменили количественный и качественный состав растительного покрова.

К настоящему моменту полностью исчезло 70 видов сосудистых растений, что составляет около 50% флоры. Уже не удастся обнаружить многие виды растений, которые были самыми обычными и распространенными в Беларуси еще в начале XX в.

В третье издание Красной книги Республики Беларусь занесено 274 вида растений, в том числе 173 – высшие сосудистые растения, 27 – мохообразные, 24 – лишайники, 29 – грибы, 21 – водоросли.

Леса Беларуси страдают от усыхания, заболеваний, вызванных стволовыми вредителями, и сильных ураганов, ежегодно проносящихся над территорией республики. Усыхание деревьев вызвано рядом причин: изменением гидрологического режима вследствие вырубки лесов, обезвоживанием поверхностных и подземных водных источников, общей деградацией среды обитания и некоторыми другими. Ослабленные усыханием массивы лесов прежде всего подвергаются нашествию вредителей и выламываются во время сильных ветров, создавая завалы и буреломы. Остающиеся в буреломах деревья являются резервуаром патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей.



В настоящее время 1,964 млн га (20,9%) лесов республики загрязнены радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. В основном это лесные угодья юго-восточной части Брестской области, юг и восток Гомельской области и юг Могилевской области.

К 1998 г. часть радионуклидов с коротким периодом полураспада прекратили свое существование, и в настоящее время радиоактивное загрязнение природных растительных комплексов определяется в основном  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , а также изотопами плутония, т.е. достаточно долгоживущими радионуклидами.

В лесных сообществах наибольшими аккумуляторами радионуклидов являются грибы, лишайники и мхи. Концентрация радионуклидов в них на единицу сухой массы превосходит таковую в почве на 1–2 порядка. Надпочвенный покров, представленный в основном сосудистыми растениями, занимает второе место по аккумуляции радионуклидов.

Дикорастущие растения отличаются повышенной способностью к аккумуляции радионуклидов по сравнению с культурными, выращенными по всем правилам агротехники. Среди сельскохозяйственных растений самый высокий уровень накопления радионуклидов характерен для семейства бобовых (различные виды люпинов). Злаковые, яровые и озимые накапливают их в 5–8 раз меньше. Лесообразующие породы аккумулируют в ассимилирующих органах значительно меньшие количества радионуклидов, чем растения нижних ярусов. По коэффициенту накопления лесообразующие породы располагаются в следующей последовательности (в порядке убывания): береза повислая, осина, дуб черешчатый, ольха черная, сосна обыкновенная.

Наиболее чувствительна к ионизирующему излучению сосна обыкновенная – основная лесообразующая порода республики. При уровнях радиационного фона 100–500 мР/ч наблюдается массовое пожелтение и опадание хвои, усыхание деревьев. Промышленная заготовка леса на технические нужды возможна при плотности радиоактивного загрязнения почвы до 555 кБк/м<sup>2</sup> с обязательным дозиметрическим контролем. Удельная активность топливной древесины не должна превышать 740 Бк/кг. Заготовка ягод, грибов и лекарственного растительного сырья ограничена уровнем 1–2 Ки/км<sup>2</sup>.

В целом санитарное состояние лесов республики, включая и радиационное, удовлетворительное.

**Животный мир** Беларуси насчитывает более 31 тыс. видов. Среди них отмечено не менее 432 видов позвоночных, в том числе 309 видов птиц; 76 – млекопитающих; 58 – видов рыб и 3 вида миног; 7 видов рептилий, среди которых 1 вид черепах и по 3 – змей и ящериц; 12 – земноводных и 4 – круглоротых.

Среди них имеются охотничье-промысловые виды, являющиеся предметом спортивной охоты, дающие диетическое мясо (копытные), ценный мех (пушные), охотничьи трофеи, сырье для парфюмерии (бобровая струя) и медицинской промышленности (панты, желчь).

Объектами охоты являются 21 вид млекопитающих и 30 видов птиц. Среди них лось, кабан, олень, косуля, заяц, бобр, волк, лисица, ондатра, норка американская, лесная куница, а также водоплавающие, тетерев, глухарь и др.

С начала XVII в. в Беларуси исчезло около 10 видов млекопитающих, из них два вида вымершие – лесной тарпан и тур. Перестали встречаться северный олень, лесной кот, лань, песец, росомаха, выхухоль. Полностью истреблены благородный олень и зубр. Благородный олень позже был реинтродуцирован, а популяция зубра восстановлена из особей, содержащихся в неволе. Достигнутая численность зубров находится в пределах максимальной для Беларуси (550–600 особей). В настоящее время республика занимает второе место в мире (после Польши) по численности зубров беловежской популяции. Основными местами обитания зубров являются лиственные и смешанные хвойно-лиственные леса с хорошо развитым травяным покровом, подлеском и подростом, а также пойменные луга. Акклиматизированы енотовидная собака, енот-полоскун, американская норка, ондатра.

По территории Беларуси проходит южная граница сплошного ареала бурого медведя. Белорусская популяция этого вида оценивается в 110–120 особей и представлена в виде четырех пространственно разобщенных субпопуляций, определяемых крупными сплошными лесными массивами в северной части страны. Наиболее многочисленная группировка сконцентрирована в Березинском биосферном заповеднике.

Еще один охраняемый вид – европейская рысь, в Беларуси встречается на всей территории, но очень редко. Всего ежегодно учитывается не более 450–500 рысей. Исключительно важной группой по количеству входящих в нее редких и исчезаю-

щих видов являются летучие мыши. В настоящее время известно 18 видов, из которых 6 видов занесены в Красную книгу Республики Беларусь.

Большая часть птиц живет в лесах, 60 видов – обитатели болот и болотистых угодий, 42 вида обитают в полях, на сухих лугах, в населенных пунктах. Лесные и водно-болотные виды составляют 80% от всей гнездящейся орнитофауны. В Красную книгу занесено 72 вида птиц.

За последние полтора–два столетия с территории страны исчезло около 10 видов птиц, а за последние 50 лет XX в. появилось на гнездовании 27 новых видов, в том числе и такие ранее исчезнувшие виды, как большой баклан, серый гусь, лебедь-шипун, что свидетельствует об активных процессах динамики орнитофауны. Уже в текущем столетии впервые зарегистрированы желтая цапля, погоньш-крошка, полярная овсянка, кречетка; более чем через 100 лет после последней встречи отмечена каравайка, через 92 года – колпица. Особое значение территория Беларуси имеет для 17 исчезающих в Европе видов птиц благодаря сохранившимся здесь значительным по площади их местообитаниям. В пределах страны сосредоточено не менее 5% европейских популяций этих видов, в том числе более половины популяции глобально исчезающего вида – вертявой камышевки.

Класс пресмыкающихся, или рептилий, насчитывает семь видов. Он включает отряды ящериц и змей – по три вида (гадюки и ужи), черепаха – один вид. Два вида (болотная черепаха и медянка) из представителей этого класса занесены в Красную книгу.

Земноводные, или амфибии, включают 12 видов. Они представлены следующими отрядами: хвостатые – два вида (настоящие саламандры), бесхвостые – 10 (круглоязычные, чесночницы, жабы, квакши, настоящие лягушки). Два вида – гребенчатый тритон и камышовая жаба занесены в Красную книгу.

Рыбы представлены 54 видами, объединенными следующими отрядами: осетровые – 4, сельдеобразные – 9, щукообразные – 1, карпообразные – 31, угреобразные – 1, трескообразные – 1, корюшкообразные – 2, окунеобразные – 5.

Отличительной особенностью фауны рыб Беларуси является наличие в ее составе представителей как морских, так и пресноводных фаунистических комплексов. В XX в. из состава ихтиофауны страны исчезли минога речная и девять видов рыб: осетры атлантический и русский, белуга, вырезуб и др.

За этот период акклиматизированы, интродуцированы и появились в результате инвазий 13 новых видов: амур белый, бычки (гонец, кругляк, песочник), ротан-головешка, сомики американский и канальный, форель радужная, толстолобики белый и пестрый, чебачек амурский и др.

Наиболее ценное промысловое значение имеют следующие виды рыб: снеток, угорь, судак, сазан, лещ, окунь, щука, плотва, язь, красноперка, жерех, линь, укляка, густера, золотой карась, карликовый сомик, налим. Промысловое значение имеют также виды, возобновляемые искусственно. К их числу в первую очередь относится европейский угорь. Несколько тысяч лет назад он самостоятельно проникал из Саргассова моря (Атлантический океан) в реки и озера Европы, в том числе Прибалтики и Беларуси. Нерестится угорь только на больших глубинах Атлантики. В стадии стекловидного угорька поднимается в реки и озера, живет здесь до зрелого возраста, а затем устремляется обратно в океан. Изменения климата, многочисленные гидротехнические сооружения закрыли естественные пути миграции угря.

С зоогеографической точки зрения территория Беларуси относится к региону, который находится на стыке двух различных зоогеографических провинций: Черноморско-Каспийско-Аральской (бассейн Днепра) и Балтийской (бассейны Немана, Западного Буга и Западной Двины). Черноморско-Каспийско-Аральская провинция значительно богаче видами рыб, главным образом за счет сохранившихся форм доледниковой ихтиофауны. В ее составе много эндемичных родов и видов, в том числе встречающихся в пределах Беларуси (стерлядь, голянь озерный, бычок-песчаник, подкаменщик, ёрш-носарь и др.). Балтийская провинция отличается сравнительно большим разнообразием лососевых рыб и отсутствием эндемичных родов и видов.

Из ихтиофауны Беларуси исчезли 12 видов проходных ценных рыб и круглоротых. Например, в связи с обмелением основных рек и зарегулированием их стока плотинами электростанций за последние 50–60 лет до пределов Беларуси перестали подниматься из Черного моря белуга, осетр русский, вырезуб, рыбец, дикая форма сазана; из Балтийского моря не заходят минога речная, осетр балтийский, лосось, кумжа, проходные сиги и корюшка.

Из представителей современной ихтиофауны только в бассейне Днепра водятся стерлядь, голянь озерный, белоглазка, синец, чехонь, ёрш-носарь, бычок-песчаник. Специфичными для водоемов бассейна Балтийского моря являются минога ручьевая, хариус, ряпушка, снеток, угорь, девятииглая и трехиглая колюшки.

Характерной особенностью сложившихся к настоящему времени ихтиологических комплексов промысловых водоемов Беларуси является большая численность и широкое распространение во всех озерах, пойменных водоемах и водохранилищах малоценных и сорных рыб (ёрш, густера, укляя, плотва, окунь и др.). Занимая те же участки, что и ценные промысловые виды, они подавляют их воспроизводство и тормозят накопление их промысловой численности. Несомненно, что такое соотношение видов в промысловых рыбохозяйственных водоемах неблагоприятно для организации рационального рыбного хозяйства и должно быть существенным образом изменено.

В настоящее время в результате отрицательного антропогенного воздействия как по причине хозяйственной деятельности, так и от браконьерства особенно остро стоит вопрос об охране зверей и птиц, обитающих в лесных и сельскохозяйственных угодьях.

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства появилось много машин и механизмов, работающих на полях, которые являются местом обитания диких животных и птиц. Применение широкозахватной высокопроизводительной техники практически лишает обитателей полей возможности скрыться и избежать гибели. Животные затаиваются и гибнут под рабочими органами техники или становятся легкой добычей хищников, потеряв укрытие.

Использование большого числа мощных сельскохозяйственных машин, а также химизация растениеводства стали основным фактором снижения численности многих видов охотничьих животных, обитающих на полевых угодьях. При бороновании, культивации, сенокосении и уборке зерновых культур на полях создается фактор беспокойства, что обычно приводит к гибели дичи, разрушаются их норы, логова и гнезда. Много животных и птиц гибнет в ночное время, когда свет фар заставляет их затаиваться в бороздах. Еще больше их гибнет при сенокосении на лугах и полях с кормовыми травами. Установлено, что в Беларуси при косьбе многолетних трав по-

гибает 33% тетеревов, 30–45 – куропаток с яйцами, 25 – коростелей и 75% перепелов. Основная часть их гибнет при косье по росе, а также при докосах центрального участка поля.

В третье издание Красной книги Беларуси занесено 189 видов, из них 17 видов млекопитающих, в том числе европейский зубр, бурый медведь, европейская рысь, обыкновенный хомяк, барсук, гигантская вечерница, большая ночница, ночница Наттерера, европейская широкоушка, прудовая ночница, малая вечерница, северный кожанок, обыкновенная летяга, орешниковая и садовая соя и др.

На животный мир Беларуси отрицательно действуют такие факторы, как осушительная мелиорация переувлажненных земель, сельское хозяйство, загрязнение среды обитания промышленными отходами, урбанизация ландшафтов, браконьерство, расширение транспортной сети автомобильных и железных дорог, замена коренных сосновых лесов вторичными искусственными насаждениями, радиоактивное загрязнение территории.

## 5.6. Окружающая среда и состояние здоровья населения

По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), *здоровье человека* – это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов, как это до настоящего времени широко распространено в общественном сознании. С юридической точки зрения здоровье может быть выражено в возможности реализовать право личности и общества на обладание и распоряжение им. С социально-экономических позиций здоровье человека, здоровье населения рассматриваются как критерии физического и интеллектуального потенциала общества для создания материальных и духовных ценностей. Частное значение здоровья с точки зрения психофизиологии – это уровень физической и умственной работоспособности при осуществлении различных видов труда. Величина утраты здоровья, выражающаяся в показателях заболеваемости и инвалидности, отражает нарушения в структурах и функциях организма, изменения адаптивных возможностей.

Для оценки здоровья в медико-биологических исследованиях используют показатели физического развития. Функции организма оценивают по показателям умственной и физиче-

ской работоспособности, а адаптационные резервы – по показателям биохимического, гормонального и иммунного статусов. *Показатель болезненности* отражает распространенность заболеваний, которая определяется отношением числа заболеваний за год, умноженным на 1000 и отнесенным к средней численности населения.

Здоровье человека в целом определяется наследственно-генетическими, социально-экономическими и экологическими факторами. На долю экологических факторов, по мнению экспертов ВОЗ, приходится 23% случаев всех заболеваний и 25% случаев онкологических заболеваний, причем 2/3 из них приходится на долю детской заболеваемости. Ежегодно 3 млн детей, не достигших пятилетнего возраста, становятся жертвами неблагоприятных факторов окружающей среды.

Низкое качество питьевой воды, неудовлетворительное состояние санитарии, низкий уровень гигиены являются основными причинами глобальных вспышек инфекционных и других желудочно-кишечных заболеваний. Список этих заболеваний возглавляют диарея и острые респираторные инфекции. В мировом масштабе около 7% всех зарегистрированных случаев преждевременной смерти людей связаны с качеством питьевой воды и проблемами санитарно-гигиенического обеспечения, а около 5% случаев вызваны загрязнением воздуха.

Причиной 17% случаев преждевременной смерти жителей развивающихся стран являются именно неблагоприятные воздействия окружающей среды. Из них 7% приходится на проблемы с водоснабжением и канализацией; 4 – на загрязнение воздуха внутри помещений; 3 – на заболевания, вызванные переносчиками; 2 – на загрязнение воздуха в городах; 1% – на негативное воздействие промышленных и бытовых отходов.

Подсчитано, что ежегодное негативное воздействие окружающей среды на здоровье населения мира эквивалентно трудовым потерям на уровне 3,2 млн человеко-лет, что сопоставимо с потерями от суммарного воздействия всех инфекционных заболеваний и заболеваний верхних дыхательных путей.

Среди экологических факторов, влияющих на здоровье человека, выделяют природные и антропогенные. *Природные факторы* связаны с изменениями климата, содержанием озона в атмосфере, мощностью УФ-излучения, наличием природных очагов заболеваний, природными катастрофами и др. К *антропогенным факторам* относятся все виды загрязнения окружающей среды и техногенные катастрофы.



Двадцатый век ознаменовался во всех странах появлением новых, неизвестных ранее хронических болезней. Причиной их, скорее всего, являются факторы современной цивилизации: стрессы, нарушения питания, техногенные воздействия, информационные нагрузки, загрязнение окружающей среды и продуктов питания, генная инженерия, нарушение естественных биоритмов и т.д. Это так называемые *болезни цивилизации*. В большой степени они зависят от образа жизни человека.

Наличие вредных привычек (прием больших доз алкоголя, антидепрессантов, транквилизаторов, наркотиков, курение), малоподвижный образ жизни, постоянное наличие шумового фона (музыка, телевизор), длительная работа за компьютером или чрезмерные социальные контакты обуславливают возникновение *патологий образа жизни*. Этими причинами вызваны большинство психических, нервных и гормональных заболеваний, многие сердечно-сосудистые заболевания, расстройства обмена веществ, болезни крови, опорно-двигательного аппарата, осложнения беременности, родов и др. Наиболее опасно комбинированное действие вредных привычек (курение, прием алкоголя и наркотиков), малоподвижного образа жизни и стрессов урбозкосистем. Сочетание этих факторов приводит к значительному сокращению продолжительности жизни жителей крупных городов, увеличению числа самоубийств, психических расстройств, заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистых заболеваний, распространению СПИДа и гепатитов.

Все большую озабоченность общества вызывает влияние загрязнителей на детородную функцию и здоровье потомства. Наиболее опасно комбинированное действие вышеперечисленных загрязнителей, так как в современном мире каждый человек постоянно подвергается воздействию нескольких, а то и всех негативных факторов среды. Влияние этого воздействия еще недостаточно изучено, но имеется достаточно доказательств его опасности.

В Беларуси также изучается влияние окружающей среды на состояние здоровья населения. Считается, что у нас наибольшую угрозу здоровью может нести качество атмосферного воздуха и уровень его загрязнения, хотя существенное влияние на картину здоровья населения наложила катастрофа на ЧАЭС. Причем наиболее сильно пострадало детское население республики. В период с 1987 по 2001 г. отмечен рост первичной и общей заболеваемости у детей по большинству классов болезней, а также постоянное увеличение числа детей с



хроническими патологиями щитовидной железы и, прежде всего, раком щитовидной железы. За этот период заболеваемость детей раком щитовидной железы увеличилась в 88,5 раза. Также отмечено существенное увеличение заболеваний ЖКТ, органов кроветворения и крови. Выявлено достоверное увеличение генетической нестабильности у детей, проживающих в зонах радионуклидного загрязнения, а также снижение их психоэмоционального развития.

Заболеваемость населения Беларуси злокачественными новообразованиями также имеет тренд к увеличению, причем для сельского населения этот показатель за период с 1980 по 2011 г. существенно выше (рис. 5.9). Смертность от злокачественных новообразований в 2011 г. составила 188,5 для городского населения и 224,2 – для сельского (в расчете на 100 тыс. человек).

В 2011 г. среди актуальных инфекций, безусловно, стоит отметить вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), заболеваемость которым увеличилась в 2 раза по сравнению с 2000 г. Если в мире эпидемия ВИЧ/СПИД приостановлена, то в Беларуси рост распространения ВИЧ-инфекции находится на уровне 14% в год, что является одним из наибольших показателей в Восточной Европе. В Беларуси за период с 1987 по 2011 г. зарегистрировано 12 955 ВИЧ-инфицированных больных,

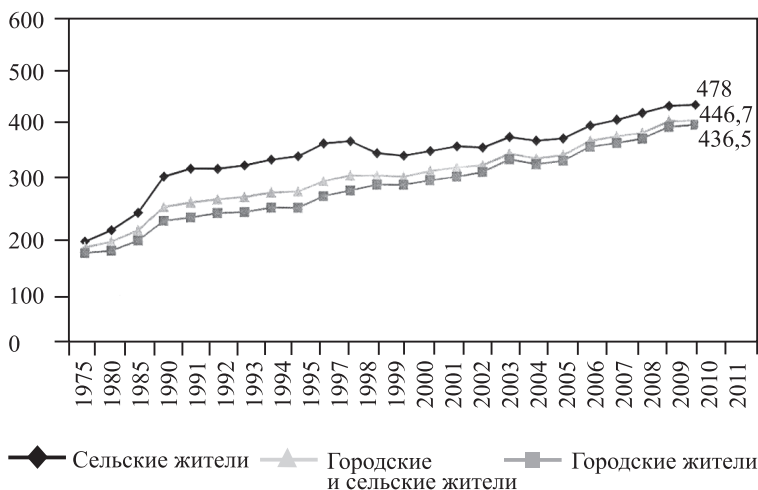


Рис. 5.9. Заболеваемость населения Беларуси злокачественными новообразованиями (на 100 тыс. чел.)

из них в Гомельской области – 6439, в г. Минске – 1852 человека. За этот период от этого заболевания умерли 1457 человек, из них 10 детей.

Заболеваемость населения туберкулезом всех форм в 2011 г. составила – 35,7 для городского населения и 64,4 – для сельского в расчете на 100 тыс. чел.

По состоянию на 2011 г. общее количество наркотически зависимых лиц – 10 872, что составляет 114,9 человека на 100 тыс.

Курение является еще одним вредным фактором, негативно отражающимся на здоровье населения. По уровню распространенности табакокурения Беларусь занимает одно из первых мест в Европе, и доля курящих в структуре населения постоянно увеличивается, особенно среди женщин (в 3 раза за последние 10 лет).

Следует иметь в виду, что курение вызывает такие заболевания, как хронический обструктивный бронхит, ишемическая болезнь сердца, атеросклероз периферических сосудов, нарушение мозгового кровообращения. Достоверно показано, что табак является в настоящее время наиболее распространенным канцерогеном, вызывающим рак. Экспертами ВОЗ подсчитано, что примерно 30% всех опухолей человека и смертей от рака в развитых странах связано с курением. Именно поэтому отказ от курения эксперты ВОЗ считают наиболее эффективным и доступным на сегодняшний день методом снижения и профилактики заболевания раком. Тем более что отказ от табакокурения проходит значительно проще и легче, чем лечение алкоголизма и наркомании.

С 1994 по 2011 г. уровень первичной заболеваемости населения Республики Беларусь увеличился на 24,6% и составил 84255,6 на 100 тыс. чел. (в 1994 г. – 67644,0 на 100 тыс. чел.).

Общая заболеваемость выросла на 40,7% и составила в 2011 г. 155929,0 на 100 тыс. чел. (в 1994 г. – 110798,1 на 100 тыс. чел.). Соотношение общей и первичной заболеваемости увеличилось с 1,64 в 1994 г. до 1,85 в 2011 г., что указывает на значительное накопление хронической патологии.

Рост уровня первичной заболеваемости в 2011 г. по сравнению с 2005 г. отмечен по следующим классам:

- врожденные аномалии (пороки развития) – на 33,5%;
- новообразования – на 20,1%;

- болезни органов дыхания – на 16,4%;
- болезни системы кровообращения – на 10,5%.

В структуре первичной заболеваемости первое место традиционно занимают болезни органов дыхания – 45879,6 на 100 тыс. чел., или 54,4% (в 2005 г. – 39418,1, или 50,8%). Второе место – класс «Травмы и отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» – 8066,0 на 100 тыс. чел., или 9,6% (в 2005 г. – 7878,4, или 10,1%). Третье место занимают болезни кожи и подкожной клетчатки – 4061,3 на 100 тыс. чел., или 4,8% (в 2005 г. – 4224,1, или 5,4%).

В структуре причин смерти населения Беларуси болезням системы кровообращения отведено лидирующее место, они составляют 51,9% (в 2010 г. – 53,9%). Уровень первичной заболеваемости в 2011 г. по классу «Болезни системы кровообращения» снизился на 1,5% и составил 2674,0 на 100 тыс. чел. (в 2010 г. – 2714,5).

Второй по значимости причиной смерти является класс «Новообразования», который в структуре причин смертности в 2011 г. составил 13,4% (в 2010 г. – 13,4%). Уровень первичной заболеваемости по этому классу за период с 2005 по 2011 г. увеличился на 20,1% (с 927,0 на 100 тыс. чел. в 2005 г. до 1113,6 на 100 тыс. чел. в 2011 г.).

По-прежнему Беларусь относится к странам с высоким уровнем суицидов – 28,8 на 100 тыс. чел. в 2011 г. (четвертое место в мире). Согласно анализу ВОЗ, государство относится к странам с высоким уровнем суицидов, если этот показатель выше 20 случаев.

Смертность составляет 14,4 на 1 тыс. чел., что выше, чем в странах-соседях, за исключением Украины. Данный показатель достаточно стабилен в течение последних 5 лет, равно как и структура причин смертности населения (в лидерах – болезни кровообращения, злокачественные новообразования, а также внешние причины – самоубийства, травмы, отравления, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) и пр.). Предметом особой тревоги является высокая смертность работоспособного населения (около 25% от всех умерших и 30% среди мужчин). С конца 80-х гг. XX в. данный показатель вырос более чем на 30%. Причем лица указанной группы умирают одинаково часто как от болезней сердца, так и от внешних причин.

Соотношение рождаемости и смертности вместе с нарушенной возрастной структурой населения свидетельствует о том, что процесс депопуляции в Беларуси не удастся остановить в ближайшие 20 лет.

Ожидаемая продолжительность жизни в стране составляет 70,4 года (64,6 лет для мужчин и 76,5 лет для женщин). Интересно, что за все время существования независимой Беларуси этот показатель пока так и не достиг уровня позднесоветского периода (71 год в 1990 г.). Разница между мужчинами и женщинами по продолжительности жизни почти 12 лет, что намного больше естественного значения этого показателя (по критериям ООН – 5 лет).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Охарактеризуйте виды загрязнения окружающей среды, приведите конкретные примеры из своей жизни.

2. Какой уровень загрязнения атмосферного воздуха, почвы, воды в Беларуси?

3. Как влияют метеорологические факторы на уровень загрязнения атмосферы?

4. Какие бывают виды смогов?

5. Что такое неблагоприятные метеорологические условия и какие действия природопользователей предусматриваются в этот период?

6. Какие превращения происходят с загрязняющими веществами в атмосфере?

7. Охарактеризуйте состояние почв республики и тенденции его изменения.

8. Охарактеризуйте состояние водопотребления и водоотведения в республике.

9. Что такое биоразнообразие и его состояние?

10. Какие естественные процессы в почвах, природных водоемах приводят к их самоочищению?

11. Приведите характеристику растительных и животных ресурсов и влияние на них факторов окружающей страны.

12. Как влияет загрязнение окружающей среды на здоровье человека и его последствия?

## ГЛАВА 6

# ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

### 6.1. Экологические кризисы и катастрофы

История развития человеческого общества – это, по существу, история природопользования, т.е. целенаправленного использования природных ресурсов для повышения комфорта и благосостояния вида *Homo sapiens*. В XX–XXI вв. масштабы и интенсивность материальной деятельности человечества стали такими, что естественная среда планеты перестала быть практически неисчерпаемым источником сырья и энергии, безмерным поглотителем отходов производства, транспорта, быта, и появились явные признаки необратимых деградационных процессов в биосфере. Экосистемы, формировавшиеся миллионы лет, претерпевают существенные изменения, становятся неустойчивыми на глобальном уровне.

Нерациональное природопользование является причиной экологических кризисов и экологических катастроф. **Экологический кризис** – это обратимое изменение равновесного состояния природных комплексов. Он характеризуется не столько усилением воздействия человека на природу, сколько резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие. Проявление экологического кризиса нередко называют *эффектом бумеранга*.

Из предистории и истории человечества известен ряд экологических кризисов и революций (рис. 6.1):

- изменение среды обитания живых существ, вызвавшее возникновение прямоходящих антропоидов – непосредственных предков человека;
- кризис относительного обеднения доступных примитивному человеку ресурсов промысла и собирательства, обусловившего стихийные биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для лучшего и более раннего роста;
- первый антропогенный экологический кризис – массовое уничтожение (перепромысел) крупных животных, или *кризис консументов*, связанный с последовавшей за ним *сельскохозяйственной экологической революцией*;



Рис. 6.1. Экологические кризисы и революции (масштаб условный)

- экологический кризис засоления почв и деградация примитивного орошаемого земледелия, недостаточность его для растущего народонаселения Земли, что привело к преимущественному развитию неполивного земледелия;

- экологический кризис массового уничтожения и нехватки растительных ресурсов, или *кризис продуцентов*, связанный с общим бурным развитием производительных сил общества, вызвавший широкое применение минеральных ресурсов, промышленную, а в дальнейшем и научно-техническую революцию;

- современный кризис угрозы недопустимого глобального загрязнения. В данном случае редуценты не успевают очищать биосферу от антропогенных продуктов или потенциально не способны сделать это в силу неприродного характера выбрасываемых синтетических веществ (ксенобиотиков). Этот кризис называют *кризисом редуцентов*, которому соответствует высший этап научно-технической революции – реутилизация продуктов и условное замыкание технологических циклов.

Основными причинами современного экологического кризиса являются чрезмерный уровень и постоянное нарастание совокупной антропогенной нагрузки на биосферу с целью обеспечения все большего комфорта проживания на планете одного вида. Качественно это выражается в том, что преобладающая масса веществ и материалов, которые вовлекаются обществом в производство и потребление, а затем попадают в окружающую среду, не может быть утилизирована в естественном биотическом круговороте, а оказывается для него загрязнителем, содержащим активные ингибиторы этого процесса.

В результате массового попадания продуктов жизнедеятельности цивилизации в окружающую природную среду ломаются все механизмы, создающие в ней равновесие процессов. Система буквально идет «вразнос», и каждый ее элемент рано или поздно разрушается (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Тенденции изменений окружающей среды

Характеристика	Тенденция 1972–1992 гг.	Сценарий 2030 г.
1	2	3
Потребление первичной биологической продукции	Рост потребления: 40% – на суше, 25% – глобальное	Рост потребления: 80–85% – на суше, 50–60% – глобальное
Изменение концентрации парниковых газов в атмосфере	Прирост концентрации парниковых газов до единиц процентов ежегодно	Рост концентрации, ускорение роста концентрации CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub> за счет ускорения разрушения биоты
Истощение озонового слоя, рост озоновой дыры в Антарктиде	Истощение озонового слоя на 1–2% ежегодно; рост площади озоновой дыры	Сохранение тенденции даже при прекращении выброса хлорфторуглеродов

1	2	3
Сокращение площади лесов, особенно тропических	Сокращение со скоростью от 117 тыс. км <sup>2</sup> в год (1980) до 180 тыс. км <sup>2</sup> (1989)	Сохранение тенденции, сокращение площади лесов в тропиках с 18 (1990) до 9–11 млн км <sup>2</sup> (2030), сокращение площади лесов умеренного пояса
Опустынивание	Расширение площади пустынь (60 тыс. км <sup>2</sup> в год), рост опустошения земель	Сохранение тенденции, возможен рост темпов за счет уменьшения влагооборота на суше и накопления поллютантов в почвах
Деградация земель. Качественное истощение вод суши	Рост эрозии, снижение плодородия, накопление загрязнителей, закисление, засоление. Рост объемов сточных вод, точечных и площадных источников загрязнения, числа поллютантов и их концентрации	Сохранение тенденции, рост эрозии и загрязнения, сокращение сельскохозяйственных земель на душу населения. Нарастание тенденции
Исчезновение видов организмов	Быстрое исчезновение видов	Усиление тенденции по мере разрушения биосферы
Ухудшение условий проживания людей, рост генетических заболеваний и заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, появление новых болезней	Рост бедности, нехватка продовольствия, высокая детская смертность, высокий уровень заболеваемости, необеспеченность чистой питьевой водой в развивающихся странах, проживание в зонах высокого загрязнения, рост генетических заболеваний, рост потребления лекарств, рост аллергических заболеваний в развитых странах, пандемия СПИДа в мире, понижение иммунного статуса	Сохранение тенденций, увеличение нехватки продовольствия, рост генетических заболеваний, заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, расширение территории инфекционных заболеваний, появление новых болезней



С кризисом редуцентов почти одновременно наступают два других экологических напряжения: термодинамическое (тепловое) и снижение надежности экосистем. Они связаны с экологическими ограничениями производства энергии и нарушением природного экологического равновесия. Данные экологические напряжения могут быть разрешены на основе энергетической и эколого-плановой экологических революций. Первая будет заключаться в максимальной экономии энергии и переходе к источникам, практически не добавляющим теплоту в приземный слой атмосферы (главным образом солнечным), вторая – в регулируемой *коэволюции* в системе «общество – природа».

В истории Земли экологические кризисы неоднократно были следствием возникновения различных природных ситуаций, внезапных существенных изменений условий существования, резких изменений физических, химических или биологических факторов как отдельных, так и вместе взятых, что влекло ухудшение состояния или гибель отдельных живых существ, популяций и даже целых экосистем. Такие чрезвычайные кризисные экологические ситуации называются катастрофами.

**Экологическая катастрофа** – ситуация, которая характеризуется глубокими и часто необратимыми изменениями природной среды, утратой природных ресурсов, резким ухудшением условий проживания населения, вызванными многократным превышением антропогенных нагрузок на природную среду. Экологическая катастрофа отличается от экологического кризиса тем, что кризис – это обратимое состояние, где человек выступает активно действующей стороной, а катастрофа – необратимое явление: человек здесь вынужденно пассивная, страдающая сторона.

Наиболее часто под термином «экологические катастрофы» понимают стихийные или вызванные действиями человека бедствия, имеющие длительный (часто необратимый) и на достаточно большой территории негативный «эффект» на человека и окружающую природную среду. В зависимости от источника происхождения экологические катастрофы делятся на два типа: природные (землетрясения, извержения вулканов и др.) и техногенные (аварии на Чернобыльской, Фукусимской и других АЭС, а также на глубоководных нефтяных платформах, химических заводах и т.д.).

## 6.2. Глобальное и региональное изменение климата

В настоящее время наиболее тревожным последствием загрязнения биосферы является *глобальное изменение климата*. Индустриализация и экономическое развитие государств (особенно развитых и развивающихся) требуют использования огромных объемов природных ресурсов, в частности органического топлива – нефти, природного газа, угля, горючих сланцев и т.п.

Тепловое загрязнение происходит в основном за счет сжигания топлива. Только за один год на планете сжигается более 9 млрд т нефтяного эквивалента\*. При этом в атмосферу с дымовыми газами выбрасывается около 22–24 млрд т углекислого газа, сотни и десятки миллионов тонн сернистого газа, оксидов азота, углеводородов, соединений тяжелых металлов и многих других загрязняющих веществ. Кроме того, в окружающую среду выделяется  $2 \cdot 10^{20}$  Дж свободной теплоты.

Известно, что углекислый газ вместе с метаном, оксидом азота (I), водяными парами, хлорфторуглеводородами (ХФУ), озоном и другими веществами относятся к *парниковым газам* – газам, задерживающим инфракрасное (тепловое) излучение Земли и создающим опасность повышения среднегодовых температур у поверхности нашей планеты вследствие так называемого *парникового эффекта*.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) подчеркивает, что в 2012 г. объем парниковых газов возрастал гораздо быстрее, чем за любой другой аналогичный период за последнее десятилетие. Согласно ее отчету за 2012 г., концентрация углекислого газа, метана и оксида азота (I) увеличилась с доиндустриальных времен на 41%, 160% и 20% и достигла 393,1 части на миллион, 1819 частей на миллиард и 475,6 части на миллион по объему соответственно.

Предполагают, что к середине XXI в. содержание углекислого газа в атмосфере удвоится, что неизбежно усилит глобальное потепление климата.

В настоящее время появились достаточно серьезные основания считать, что источником парниковых газов – диоксида углерода (IV), метана и оксида азота (I) – является не только сжигание ископаемого топлива. Недавно проведенные расчеты показали, что источником парниковых газов может быть

---

\* Одна тонна нефтяного эквивалента (ТОЕ) равняется 41,868 ГДж, или 11,63 МВт·ч.

и нарушение жизнедеятельности микробных сообществ почв Сибири и части Северной Америки, связанное с интенсивной хозяйственной деятельностью в этих регионах, глобальным загрязнением атмосферы и некоторыми другими факторами.

На процесс глобального потепления климата существенное влияние оказывает обнаруженное в 1980-х гг. *глобальное потемнение атмосферы*. Оно происходит за счет поступления в атмосферный воздух аэрозолей (сажи, пыли неорганических соединений и др.), образующихся в процессах сжигания любого топлива. Частицы пыли создают в верхних слоях атмосферы экран, который задерживает часть солнечной энергии, поступающей на Землю. Исследования из космоса показывают, что благодаря этому явлению охлаждается поверхность океана в Северном полушарии планеты и других регионах. Это приводит к изменению атмосферных процессов. Уже начались засухи в Африке и мощные муссонные наводнения в Азии.

Климатологи предупреждают, что глобальное потемнение атмосферы может привести к двойному усилению глобального потепления со всеми вытекающими последствиями.

Кроме того, американские и британские специалисты пришли к выводу, что климат Земли меняется также за счет повышения влажности воздуха. За последние 30 лет влажность приземного слоя воздуха выросла на 2,2%. По прогнозам экспертов, при общем потеплении климата на 1 °С влажность возрастет на 6%. Используя температурные прогнозы Международной комиссии по изменению климата, ученые установили, что к 2100 г. влажность воздуха на планете возрастет на 24%. При повышении влажности ухудшается теплообмен между живыми организмами и окружающей средой, что чревато серьезными последствиями для всей биосферы.

Наиболее просчитанным последствием глобального изменения климата является ускорение подъема уровня Мирового океана. Этот процесс, связанный с таянием арктических и антарктических ледников, уже наблюдается в настоящее время.

Как заявил Генеральный секретарь ВМО Мишель Жарро, площадь морского льда в Арктике в 2012 г. составляет 3,41 млн км<sup>2</sup> и по сравнению с 2007 г. сократилась на 18%.

Согласно документам Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (Киото, 1997), сохранение существующих тенденций роста выбросов парниковых газов к 2100 г. может привести к повышению среднегодовых температур нижних слоев атмосферы Земли на 4,6 °С, что в свою очередь приведет к

подъему уровня Мирового океана на 15–95 см. Считается, что за последнее столетие уровень Мирового океана поднялся на 10–12 см, о чем свидетельствует сокращение территорий приморских стран, особенно скандинавских.

На первый взгляд эти прогнозируемые изменения могут показаться незначительными, но на самом деле они способны повлечь за собой массу негативных последствий. Известно, что в настоящее время около половины человечества проживает в наиболее уязвимых прибрежных зонах Мирового океана. Поэтому грядущее повышение его уровня заставит десятки миллионов людей, проживающих в Голландии, Бангладеш, на Карибских островах и во многих других государствах, покинуть обжитые места и искать пристанище на менее благоприятных для жизни территориях. При этом в первую очередь пострадают люди беднейших стран мира, практически лишенные возможности защитить себя от надвигающихся изменений.

Глобальное потепление повлияет на все экологические системы планеты, которые не успеют за такое короткое время приспособиться к быстрому изменению климата, режиму осадков, измененному вегетационному периоду развития растений и др. При этом разнообразие земной биосферы значительно сократится в связи с гибелью тысяч видов. Освободившиеся экологические ниши займут другие, как правило, менее ценные и даже вредные паразитические виды. Инфекционные болезни, которые в настоящее время находятся под контролем (малярия, холера, тиф, лихорадки разной этиологии и т. д.), могут достичь уровня эпидемий. Во многих развивающихся странах, расположенных в засушливых и полусушливых районах, усилится проблема доступа населения к безопасной питьевой воде. Дефицит воды, ее загрязнение, загрязнение воздушного бассейна станут еще заметнее. В прибрежных зонах повысится опасность наводнений и штормов, их масштаб и мощность будут возрастать.

Глобальное потепление сопровождается активным наступлением пустынь. При сохранении нынешних тенденций через 10 лет этот процесс скажется на жизни трети населения планеты. Ежегодный ущерб от наступления пустынь эксперты уже сейчас оценивают примерно в 65 млрд дол. США. Особенно опасно наступление пустынь развивается к югу от Сахары, в Китае, Западной Азии, Южной Америке. Это явление отмечено более чем в сотне стран, от него уже сейчас страдают более 200 млн человек.

Как показывают наблюдения, глобальное потепление сопровождается дополнительной эмиссией парниковых газов из арктической тундры, лесов и океанов, что ускоряет процесс изменения климата по сравнению со сценарием, предсказываемым современными климатическими моделями.

Характеристики океанских течений также усиливают скорость трансформации климата. Изменение потока течения Гольфстрима уже стало причиной существенного похолодания в Северной Атлантике и особенно в Европе.

Кроме того, на глобальный климат влияют явления Ла-Нинья (аномальное охлаждение поверхности воды в центральной и восточной частях тропической зоны Тихого океана) и Эль-Ниньо (повышение температуры поверхностного слоя воды экваториальной части этого же океана).

Межправительственная группа экспертов-климатологов считает, что в возникновении глобального потепления на 95% виновато человечество. При этом также отмечено, что парниковые газы (и в особенности углекислый газ) задерживаются в атмосфере на многие сотни и даже тысячи лет и будут длительное время влиять на изменение климата.

Повышение среднегодовой температуры на планете более всего заметно на территории Европы, где объем осадков увеличился в северной половине и уменьшился в южной.

Предполагают, что к середине XXI в. через юг Европы от Испании до Украины протянется полоса засушливого климата, а к 2100 г., вероятно, исчезнут до 95% ледников Альпийских гор. Зоной повышенного риска могут стать прибрежные территории Голландии, Германии, России, Украины и других стран, возрастет частота стихийных бедствий – засух, наводнений, штормов, ураганов и т. д.

**Изменение климата Беларуси и его последствия.** Несмотря на то что Беларусь расположена в центре Европы, достаточно далеко от прибрежных зон, за последнее столетие среднегодовая температура возросла на всей территории республики в диапазоне 0,5–1,1 °С. Во всем мире за последние годы повышение среднегодовых температур составляет 0,7–0,8 °С. Таким образом, потепление в Беларуси идет несколько быстрее, чем среднее потепление во всем мире.

Летом наблюдается незначительное снижение средней температуры на 0,1–0,3 °С в северных районах. В этих же районах происходит возрастание осадков до 100 мм в год (около 20%

от нормы). В южных районах республики годовое количество осадков снижается и наблюдается тенденция к засушливости. За последние десятилетия возросло и количество экстремальных климатических аномалий (засухи, заморозки, град, ураганы, ливни). В частности, за последние 30 лет средняя скорость ветра на территории республики снизилась, но увеличилось количество ливней и шквалов с сильным ветром. Ежегодно регистрируется от 10 до 30 опасных гидрометеорологических явлений разного характера. Наибольший ущерб экономике приносят жара, засуха, сильные шквалы ветра, особенно в сочетании с градом и сильными ливнями.

Потепление климата для нашей страны на данном этапе является благоприятным, поскольку оно способствует увеличению агроклиматических ресурсов, а также снижению топливно-энергетических затрат.

В наибольшей степени от возможных изменений климата в экономике Беларуси зависит сельскохозяйственное производство. Самым опасным может стать рост вероятности снижения урожайности сельскохозяйственных культур в результате увеличения частоты и повторяемости засух на территории ряда регионов страны, а также потерь урожая ввиду повышения частоты неблагоприятных гидрометеорологических явлений.

Прогнозируемый рост теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода при достаточном увлажнении способствует расширению и улучшению структуры растениеводства, продвижению на север традиционных агроклиматических зон. Увеличение длительности вегетационного периода окажет положительное воздействие на проведение полевых работ и возможность более широкого внедрения познанных (повторных) посевов сельскохозяйственных культур.

Рост теплообеспеченности может быть использован для внедрения более теплолюбивых сортов и видов сельскохозяйственных культур (подсолнечника, сахарной свеклы, сои), которые, как правило, отличаются более высокой продуктивностью и приспособляемостью к изменениям климата. Менее зимостойкий по сравнению с зерновыми озимый рапс постепенно продвигается в северные регионы – Могилевскую и Витебскую области. За последние годы площади озимого рапса, который отличается более высокой продуктивностью, значительно расширились и составляют более 90% посевных площадей в структуре его посевов. Ранее соотношение ярового и озимого рапса составляло 50:50.

При повышении температуры на 1 °С улучшатся термические условия возделывания озимых зерновых культур в Поозерье и Белорусской возвышенной провинции. В Предполесской и Восточно-Белорусской провинциях они останутся близкими к средним многолетним условиям, а в Полесской ухудшатся и приведут к снижению продуктивности этих культур. Отмеченное потепление приведет к несоответствию термического режима вегетационного периода ячменя, картофеля и в еще большей степени льна-долгунца потребностям развития данных культур, что понизит их продуктивность во всех регионах Беларуси.

Через два-три десятилетия теплообеспеченность сельскохозяйственных культур на северо-востоке превысит современный уровень для юга Беларуси. При этом агроклиматические аналоги теплообеспеченности южных районов страны окажутся южнее на 450–500 км (аналог современных лесостепей Украины).

На основании анализа оценок зависимости урожайности от климата выполнены расчеты ожидаемых ее изменений для варианта, сочетающего рост температуры на 1 °С и уменьшение количества осадков. Этот вариант типичен для центральной и южной частей страны. Проведенный численный эксперимент показал, что при реализации этого варианта снижение урожайности для зерновых культур может достигнуть 4–16%, картофеля – 8–20% и льна-долгунца –16–26%.

Климатические условия приведут к изменениям кормовой базы животноводства, условий выпаса и содержания скота. Доля погодной и климатической составляющих в суммарной урожайности кормовых культур составляет 10–15%. Прогнозируемая продолжительность вегетационного периода позволит увеличить длительность пастбищного сезона и уменьшить продолжительность стойлового периода.

Еще одной из наиболее зависимых от климатических изменений отраслей является лесное хозяйство. Общеизвестно, что тип леса зависит от климата, рельефа местности, уровня грунтовых вод, почвенных условий.

Последствия изменения климата для лесного хозяйства и лесных экосистем могут быть как положительными, так и отрицательными.

К положительным последствиям можно отнести:

- увеличение текущего прироста древостоев (не менее 10%) в связи с увеличением активных температур, продолжительности вегетационного периода, а также концентрации углекислого газа в атмосфере;



- ускорение сроков созревания плодов и семян древесных растений, а также лесных ягод в связи с более ранним началом вегетации (на 10–15 дней) по сравнению со среднемноголетними сроками;
- более раннее оттаивание почвы и, как следствие, сдвиг на 10–15 дней сроков начала лесокультурного сезона, что позволит несколько растянуть продолжительность периода посадки (посева) леса.

Среди отрицательных последствий следует отметить:

- увеличение продолжительности пожароопасного периода, площадей потенциально пожароопасных лесов, возрастание общей пожарной опасности в лесах и на торфяных болотах лесного фонда;
- изменение структуры древостоев в связи с прогнозируемым сдвигом границ ареалов ряда основных лесобразующих пород (ели, ольхи серой, граба) и вследствие утраты фитоценотической устойчивости елью, ольхой серой и, наоборот, усиления позиций граба, дуба, сосны;
- рост вероятности массового размножения вредителей леса, как первичных (непарного шелкопряда, шелкопряда-монашенки, пилильщиков, совок, волнянок, листоверток и др.), так и вторичных (короеда-типографа и его спутников) в результате общего ослабления состояния древостоев и улучшения климатических условий для массового размножения видов насекомых-вредителей;
- возрастание вероятности возникновения поздних весенних заморозков может оказать существенное влияние на текущий прирост дуба, ели, липы, некоторых других лиственных пород, состояние посевов и посадок в питомниках, а также привести в отдельные годы к побиванию цветов и завязей плодов древесных растений и лесных ягод;
- общее ухудшение условий произрастания древостоев вследствие тотального понижения уровня грунтовых вод на гидроморфных и полугидроморфных почвах и повышения интенсивности транспирации и испарения с поверхности на всех типах почв;
- ухудшение условий перезимовки лесной растительности вследствие отсутствия или сокращения сроков снежного покрова и повышения вероятности зимних оттепелей, провоцирующих рост растений;
- обеднение генофонда бореальной флоры и фауны лесов на фоне обогащения биоразнообразия за счет видов термо- и



ксерофильных европейско-малоазийских и евросибирско-аралокаспийского биотических комплексов;

- экспансия в лесные экосистемы видов лесостепного и степного флористических комплексов, способных конкурировать с аборигенными хозяйственно-полезными и охраняемыми видами;
- увеличение интенсивности дыхания в вегетационном сезоне и зимовке в результате повышения температуры, что приводит к снижению прироста и расходу запасных веществ растений в период зимнего покоя.

Все отрицательные последствия изменения климата в наибольшей степени выразятся в южной части Беларуси – в Брестском и Гомельском Полесье, в меньшей мере – в подзоне грабово-еловых лесов, дубрав и относительно слабо скажутся в Витебской области, северных районах Минской, Могилевской и Гродненской областей.

На территории Беларуси высока вероятность формирования в будущем и более катастрофических паводков и половодий. Такая ситуация возможна при усилении антропогенной нагрузки на водосборе и обусловлена с гидрологической точки зрения существенным изменением условий формирования стока. Кроме того, возможны постоянные потери высокопродуктивных сельскохозяйственных земель из-за высокой вероятности их затопления.

Определенного внимания в части адаптации к климатическим изменениям потребуют также такие отрасли, как жилищно-коммунальное хозяйство, строительство, транспорт и др.

Анализ наблюдений за изменением климата показывает, что в ближайшие два десятилетия в Республике Беларусь продолжительность отопительного периода может уменьшиться на 4–8 дней. Сокращение средней продолжительности отопительного периода и повышение температуры наружного воздуха в зимний период создадут условия для уменьшения потребления тепловой и электрической энергии.

### **6.3. Истощение озонового слоя**

Озон образуется в верхней стратосфере (40–50 км) при фотохимических реакциях с участием кислорода, азота, водорода и хлора. Если весь атмосферный озон привести к нормальным условиям земной поверхности, то средняя толщина озонового слоя не превысит 3 мм.

Несмотря на незначительное содержание озона в атмосфере жизнь на Земле немыслима без озонового слоя, предохраняющего все живое от вредного коротковолнового ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца. Исчезновение озоносферы может привести к непредсказуемым последствиям.

В начале 80-х гг. XX в. английские и японские ученые выяснили, что озоносфера с конца 70-х гг. над Антарктикой непрерывно истощается. Наземные и спутниковые измерения обнаружили своего рода озоновую «дыру» площадью более 10 млн км<sup>2</sup>, в которой озона в столбе воздуха было на 30–50% меньше нормы. Уменьшение содержания озона заметнее всего на высотах 15–25 км. Позднее выяснилось, что озона в атмосфере становится все меньше и меньше также в средних и высоких широтах Северного полушария зимой и весной (январь–март), особенно над Европой, США, Тихим океаном, европейской частью России, Восточной Сибирью и Японией. В нижней стратосфере (10–25 км), где озона больше всего, главную роль в сезонных и более длительных изменениях его концентрации играют химический состав атмосферы и долговременные (с периодом более 10 лет) процессы переноса воздушных масс.

Средняя скорость глобального уменьшения озонового слоя, по оценкам разных экспертов, составляет 0,5–1,5% в год. Если данная тенденция истощения озонового слоя будет продолжаться, то уже в середине XXI в. человечество может оказаться на пороге глобальной экологической катастрофы с непредсказуемыми тяжелыми последствиями.

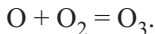
Разрушение озонового экрана сопровождается рядом опасных явлений и негативных воздействий на человека и природу. Оно ведет к разрушению экосистем океана вследствие гибели планктона в экваториальных зонах, нарушению роста и фотосинтеза растений, увеличению частоты лесных пожаров, резкому возрастанию раковых и глазных заболеваний (катаракты, конъюнктивиты, поражение сетчатки глаза и глазного дна), снижению иммунного статуса человека и животных, мутациям растительного и животного мира, вспышкам различных заболеваний, повышению окислительной способности атмосферы, усилению коррозии металлов и др.

Известно, что уменьшение концентрации озона в атмосфере на 1% приводит к повышению заболеваемости раком кожи на 2% (по другим данным, на 7%). Если такие темпы разрушения озона будут сохраняться и далее, то к середине XXI в. чис-

ло заболеваний раком кожи достигнет десятков миллионов в год. Кроме того, озоновый слой предопределяет тепловой режим и динамику атмосферы.

К разрушению озонового слоя приводят запуски мощных ракет, полеты реактивных самолетов, испытания ядерного оружия, массовое применение фреонов в технике и быту. Существует также гипотеза о том, что озоновые дыры над Арктикой и Антарктикой обязаны своим происхождением газам, законсервированным в вечной мерзлоте, из которой при таянии льдов выделяется большое количество активных веществ – радикалов, которые, поднимаясь на большую высоту, разрушают озоновый слой.

В 1996 г. ученые-химики Шервуд Роуланд и Марио Милена из Калифорнийского университета в Беркли (США) и Поль Крутцен из Германии были удостоены Нобелевской премии по химической экологии за научную гипотезу о механизме техногенного разрушения озонового слоя Земли и появления озоновых дыр. Они полагают, что главной причиной этого разрушения является попадание в верхние слои атмосферы техногенных хлора и фтора, а также других атомов и радикалов, способных активно присоединять атомарный кислород, конкурируя с реакцией



Занос активных галогенов в верхние слои атмосферы осуществляется хлорфторуглеродами (ХФУ) метана и этана. ХФУ в обычных условиях являются инертными и нетоксичными, однако под действием УФ-излучения в стратосфере они распадаются. При этом каждый освобожденный атом хлора может разрушить или помешать образованию множества (до 1000) молекул озона.

Для предотвращения разрушения озонового слоя необходим отказ от использования озоноразрушающих веществ в хозяйственной деятельности. Для этого в 1985 г. была принята Венская конвенция о защите озонового слоя, а в 1987 г. – Монреальский протокол о мерах по защите озонового слоя, требовавший сначала сократить производство и использование хлорсодержащих хладонов, а затем и совершенно изъять их из употребления.

Однако уже сейчас очевидно, что, рассматривая проблемы озонового слоя и изменения климата Земли, необходимо учитывать не только антропогенные факторы, но и долговременные естественные изменения во взаимодействующей системе «литосфера (ядро и мантия Земли) – гидросфера (океан) – ат-

мосфера». В последнее время все чаще высказываются предположения о том, что процессы, протекающие в ядре и мантии Земли, влияют на скорость вращения Земли вокруг своей оси и таким образом изменяют поведение таких течений, как Эль-Ниньо, Куроисио и Гольфстрим. Эти течения Мирового океана могут заметно воздействовать на климат планеты и приводить к нарушению озонового слоя в атмосфере.

#### 6.4. Демографический кризис

Численность человечества с начала 2000 г. ежегодно увеличивается на 90 млн человек и в 2011 г. достигла 7 млрд человек. По оптимистическим оценкам, к 2150 г. население Земли достигнет 11 600 млн человек.

В современном мировом народонаселении доля женщин равна 49,7% с колебаниями в разных странах от 48 до 53%. Средняя продолжительность жизни людей – 63,8 года, в том числе мужчин – 61,8 (от 41 до 79 лет в разных странах), женщин – 65,9 (от 42 до 82 лет).

В возрастной структуре населения мира дети в возрасте до 14 лет занимают 32%, люди в возрасте 15–64 лет – 61% и люди старше 64 лет – 6%.

Усредненная по полу и возрасту масса тела современного человека составляет 52,8 кг. Продолжительность жизни людей в среднем в 2–2,5 раза превышает естественную продолжительность жизни млекопитающих животных с такой же массой тела. В природе для относительно крупных млекопитающих, к которым относится человек, такая численность не имеет себе равных и в принципе невозможна. Только сопутствующие человеку некоторые виды мелких млекопитающих (мыши и крысы) имеют численность порядка  $10^9$ . Вид *Homo sapiens* становится самым многочисленным из всех видов наземных позвоночных животных.

Согласно экспертным оценкам, популяции первых людей, одновременно проживавших на Земле 1 млн лет назад, насчитывали 100 тыс. особей, ко времени появления *Homo sapiens* – около 500 тыс., 30–20 тыс. лет назад – примерно 5 млн. Демографическая емкость нашей планеты большинством экологов оценивается в 1,0–1,5 млрд человек (при идеальных общественно-экологических условиях). Сегодня Земля, по оценкам специалистов, перенаселена не менее чем в 3 раза. Однако рост

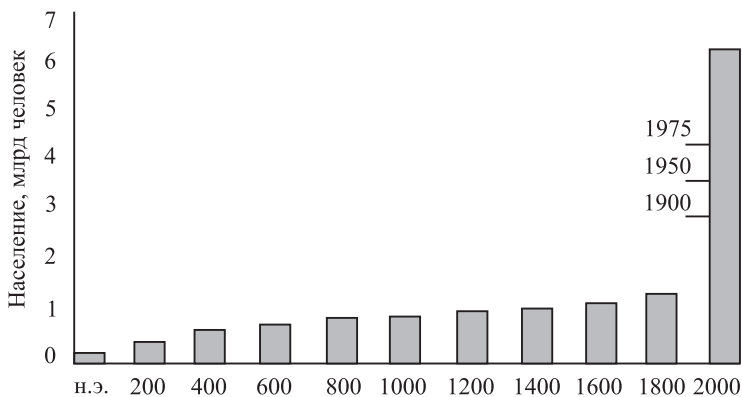


Рис. 6.2. Рост населения Земли с начала новой эры до 2000 г.

населения, по-видимому, будет продолжаться, так как пищевые ресурсы вопреки регионально существующему голоду и недоодеянию достаточны для жизни более 15 млрд человек.

На протяжении многих веков народонаселение мира росло чрезвычайно медленно – до 7 человек на 10 000 за год (рис. 6.2). Начиная с эпохи географических открытий (конец XV – начало XVI в.) рост населения становится экспоненциальным, а затем нарастание числа людей на Земле, прослеженное уже на основании достаточно достоверных документальных данных, приобрело гиперболический характер (рис. 6.3).

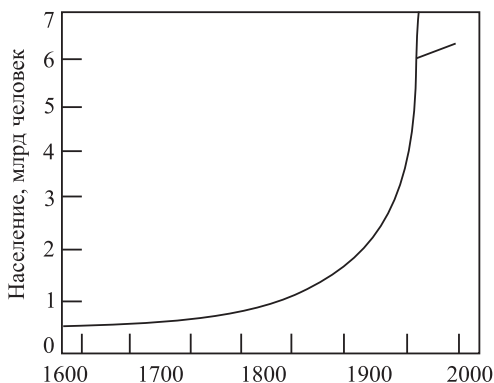


Рис. 6.3. Динамика роста населения Земли за последние 400 лет: расщепление в верхней части кривой означает отклонение от гиперболической зависимости, намечившееся за последнее десятилетие XX в.

С начала 80-х гг. XX в. относительный прирост населения перестал увеличиваться, рост численности приблизился к линейному со средним значением абсолютного прироста около 85 млн человек за год.

Очень быстрое увеличение численности человечества во второй половине XX в. называют *демографическим взрывом*. За 50 лет (1949–1999 гг.) народонаселение мира увеличилось почти в 2,5 раза – с 2463 до 6010 млн человек, а прирост за последние 100 лет составляет  $\frac{3}{4}$  от современного числа людей на Земле. Значительное ускорение роста народонаселения вызвано в основном снижением смертности людей от эпидемий и голода. В XX в. к этим факторам добавилось резкое снижение детской смертности в развивающихся странах, связанное с улучшением гигиенических условий и успехами медицины.

В 1990–1995 гг. общий коэффициент рождаемости в мире снизился до 24,6%, общий коэффициент смертности составлял 9,8%, коэффициент естественного прироста – 14,8%.

Примерно такие же параметры воспроизводства населения сохраняются и в настоящее время. Это означает, что в среднем каждую минуту на Земле появляется 320 младенцев, умирает 110 человек разного возраста. Каждые сутки число землян возрастает на 230 тыс. человек.

Основной вклад в лавинообразный рост численности народонаселения вносят Латинская Америка, Австралия и Океания, Африка, государства бывшего СССР, Индия, Китай и другие страны Азии. По абсолютной численности самый большой прирост дали Китай, Индия и Индонезия. Наибольшая скорость роста населения наблюдается в Африке и Латинской Америке. В некоторых африканских странах относительный прирост доходит до 4% в год (рис. 6.4).

Для многих европейских стран в настоящее время характерна стадия демографического перехода к стабилизации численности населения.

*Демографический переход* представляет собой последовательную смену типов воспроизводства населения, ведущую к стабилизации его численности. В нем можно выделить четыре фазы:

- первая фаза характеризуется тем, что смертность и рождаемость быстро снижаются, но падение коэффициента смертности опережает падение коэффициента рождаемости, поэтому

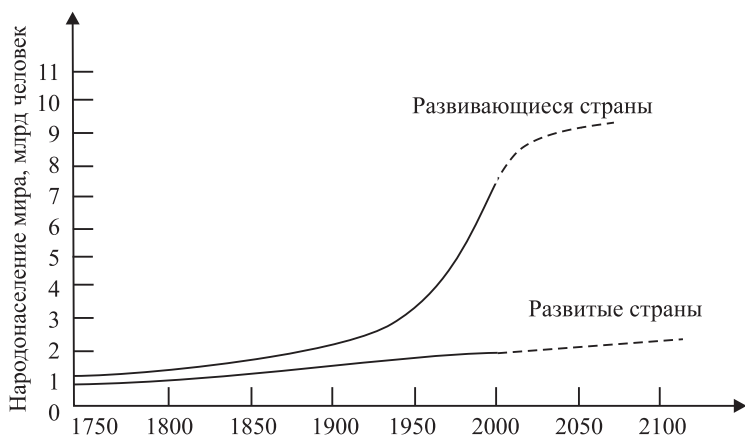


Рис. 6.4. Численность населения в развитых и развивающихся странах

прирост населения продолжает увеличиваться, достигая наибольшего значения. Такая ситуация сложилась во многих развивающихся странах; развитые страны прошли эту стадию еще к середине XX в.;

- во второй фазе смертность достигает минимума и больше не снижается, но рождаемость продолжает падать, из-за чего прирост населения замедляется;

- третья фаза характеризуется повышением коэффициента смертности, обусловленным старением населения, и одновременно замедлением падения рождаемости. К концу третьей фазы коэффициент рождаемости приближается к уровню простого воспроизводства населения, а коэффициент смертности остается ниже этого уровня, так как возрастная структура населения еще не стабилизировалась. К этой фазе близки экономически развитые страны;

- в четвертой фазе коэффициент смертности сближается с коэффициентом рождаемости и процесс демографической стабилизации заканчивается.

Демографический переход для планеты в целом может произойти, по современным прогнозам, не ранее середины XXI в., когда популяция людей может достигнуть 12 млрд человек. Десятикратное превышение оптимума численности населения в соответствии с емкостью Земли чревато полной разбалансированностью биосферогенеза.

Высокая численность населения и его подвижность способствуют распространению опасных для здоровья и жизни людей болезней. Теоретически вероятны шквалы заболеваний (например, пандемии гриппа, неконтролируемое лавинообразное распространение ВИЧ-инфекции и др.). Многие специалисты отмечают, что чем выше численность и плотность населения и хуже состояние общего здоровья, тем катастрофичнее будут последствия эпидемий и пандемий. Поэтому многие страны Азии и Африки уже сейчас реализуют программы ограничения рождаемости, осуществляя мероприятия по планированию семьи.

Демографический кризис является одним из факторов экологического кризиса. Само по себе  $10^4$ -кратное превышение нормальной численности наиболее крупного на планете консумента (потребителя), каковым является человек, не может не сказываться на биотическом равновесии и конкурентных взаимоотношениях в природе. Физическая масса проживающих на планете людей (более 300 млн т) составляет  $1/20$  массы всех сухопутных животных и не менее  $1/2$  массы всех млекопитающих. Человечество съедает за один год около 1 млрд т пищи – это большая часть того продовольственного ресурса, что в природе образуется для конечных консументов.

Таким образом, современные популяции людей обладают такими особенностями, которые полностью исключают их включение в естественные биоценозы.

Однако воздействие вида *Homo sapiens* на окружающую среду, как нам известно, не ограничивается биотическим влиянием. Современным обществом в производство и потребление вовлекается такое количество вещества и энергии, которое в сотни раз превосходит чисто биологические потребности человека. И хотя каждому из нас сегодня нужно не настолько больше, чем нашему далекому предку, еды, одежды и защиты от внешних сил, инфраструктура цивилизации, ее экономика многократно увеличивает потребление и деградацию природных ресурсов, приходящихся на одного человека.

Среди негативных последствий демографического кризиса особого внимания заслуживают рост материального потребления и городских агломераций, загрязнение среды, падение уровня жизни, изменение структуры населения и его скученность (рис. 6.5).





Рис. 6.5. Основные последствия роста населения

**Рост потребления.** Рост населения не пропорционален росту потребления, так как обычно сопровождается падением уровня жизни. Потребление возрастает, прежде всего, за счет тех регионов, которые мало связаны с уровнем жизни (например, потребление зерна, риса и т.п.).

**Рост городов.** В силу того что сельскохозяйственное производство не предоставляет дополнительных рабочих мест, избыточное население сосредоточивается в городах. Рост го-

родов нередко происходит за счет сельскохозяйственных угодий, что в свою очередь ведет к усилению оттока населения из сел в города.

**Загрязнение среды.** Из-за увеличения выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферу и гидросферу, объема промышленных и коммунальных отходов, роста городов как наиболее мощных источников загрязнения, интенсификации сельскохозяйственного производства возрастает загрязнение среды. Оно провоцирует рост заболеваемости, запуская механизм естественного отбора, ведущего к изменению (ухудшению) генофонда. Борьба с загрязнением в свою очередь сопряжена со значительным увеличением непроизводительных расходов и возникновением фактора вторичного загрязнения среды обитания.

**Падение уровня жизни.** Основные факторы падения уровня жизни связаны с ростом численности населения – многодетностью и обусловленным ею дефицитом семейного бюджета, ростом цен на землю, соответствующим удорожанием жилищного строительства, ресурсов, всех систем жизнеобеспечения, а также с ростом непроизводительных расходов.

**Изменение структуры населения.** Сдвиг в пользу городского населения с ростом его численности сопровождается изменениями соотношения:

- возрастных групп (омоложением населения, что чревато ростом безработицы среди молодежи, преступности и общей социальной нестабильности);
- полов в младших возрастных группах (число мальчиков превышает число девочек);
- полов в старших возрастных группах (снижением продолжительности жизни мужчин по сравнению с женщинами; увеличением числа одиноких женщин среднего и пожилого возраста).

**Скученность населения.** Скученность ускоряет процесс загрязнения среды. Она провоцирует гормональные нарушения у человека, увеличивает степень конфликтности и агрессивности в семье и на производстве.

К социально-психологическим последствиям скученности относятся отчуждение, утрата социальной значимости личности, снижение ценности жизни, социальное безразличие и карьеризм (стремление обрести значимость любой ценой), саморазрушение (алкоголизм, наркомания, половые извращения и др.), преступность.

Качественные аспекты скученности касаются и самого человека. Только сейчас начинаются исследования по выяснению, что же происходит с людьми при большом их количестве и быстром росте численности; продолжается ли прогрессивная эволюция человека как биологического вида; насколько человечество изменяет свои свойства, влияет само на себя, изменяя природу и качество окружающей среды; каковы перспективы развития цивилизации и пр.

## 6.5. Кислотные дожди

Атмосферные осадки могут выпадать в виде дождя, снега, тумана, росы, в которых присутствует вода, являющаяся прекрасным растворителем многих примесей. В состав осадков входят такие анионы и катионы, как  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ , соотношение которых определяет рН осадков, т.е. их *кислотность* (рН выражается десятичным логарифмом концентрации водородных ионов). Осадки, имеющие показатель рН ниже 5,6, относятся к кислым. При нормальных условиях чистая дождевая вода содержит растворенный атмосферный диоксид углерода, образующий слабую угольную кислоту.

Термином *кислотные дожди* называют все виды метеорологических осадков, рН которых меньше, чем среднее значение рН дождевой воды (рН = 5,6). Впервые термин «кислотный дождь» был введен в 1872 г. английским исследователем Ангусом Смитом.

Кислотные дожди появляются вследствие нарушения круговорота веществ между атмосферой, гидросферой и литосферой. Основной причиной образования кислотных осадков являются диоксид серы (2/3) и оксиды азота (1/3), которые поступают в окружающую среду в основном в виде промышленных выбросов. Сернистый газ образуется и выбрасывается в атмосферу при сжигании угля, нефти, мазута, а также при добыче цветных металлов из сернистых руд. Оксиды азота образуются при соединении азота с кислородом воздуха при высоких температурах главным образом в двигателях внутреннего сгорания, котельных установках и других теплоиспользующих теплоагрегатах.

Получение энергии путем сжигания ископаемого топлива сопровождается закислением окружающей среды. Как правило, высота труб теплоэлектростанций достигает 250–300

и даже 400 м, поэтому выбросы рассеиваются на огромных территориях, преодолевают большие расстояния, переносятся через государственные границы. В странах Скандинавии только 20 – 25% всех кислотных дождей собственного происхождения, а остальное они получают от дальних и ближних соседей. Вследствие более частых западных ветров через западные границы Беларусь получает в 8 – 10 раз больше соединений серы и азота, чем от нас переносится в обратном направлении.

Над Скандинавией, Северной Америкой и Европой выпадают дожди с содержанием в них кислот, в десятки, сотни, тысячи раз превышающим норму. По содержанию кислоты современные дожди соответствуют сухому вину, а часто и столовому уксусу.

Под влиянием серной и азотных кислот происходит разрушение хлорофилла в листьях растений, в связи с чем ухудшаются фотосинтез и дыхание, замедляется рост, снижаются качество древесных насаждений и урожайность сельскохозяйственных культур, а при более высоких и продолжительных дозах воздействия растительность погибает.

При кислотных дождях чаще всего страдают пихта, ель, сосна, так как смена хвои происходит реже, чем смена листьев, и она накапливает больше вредных веществ за один и тот же период времени. У хвойных деревьев желтеет и опадает хвоя, изреживаются кроны, повреждаются тонкие корни. У лиственных пород изменяется окраска листьев, преждевременно опадает листва, гибнет часть кроны, повреждается кора. Не происходит естественное возобновление хвойных и лиственных лесов. Эти симптомы часто сопровождаются вторичными поражениями насекомыми и болезнями деревьев, в большей степени захватывающими молодые леса.

В Беларуси резко снижается устойчивость и продуктивность лесов в районах функционирования нефтеперерабатывающих и химических производств (Новополоцк, Мозырь, Гродно, Светлогорск, Гомель, Солигорск и др.). Особенно повреждаются хвойные лесообразующие породы – сосна и ель, отличающиеся большей газочувствительностью по сравнению с лиственными породами. Как показывают исследования, при воздействии кислых газов и кислот в хвое нарушаются метаболические процессы: трансформируется обмен веществ, снижается содержание белков и фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов), падает интенсивность фотосин-

теза, возрастает кислотность клеточного сока, увеличивается активность фермента пероксидазы в связи с необходимостью детоксикации ядовитых перекисей.

Кислые дожди вызывают повышение кислотности почв, что снижает эффективность применяемых минеральных удобрений на пахотных землях, приводит к выпадению наиболее ценной части видового состава на долголетних культурных сенокосах и пастбищах. Особенно подвержены влиянию кислотных осадков дерново-подзолистые и торфяные почвы, широко распространенные в северной части Европы. Закисленные почвы требуют дополнительных расходов на проведение их известкования. Кроме того, кислые дожди непосредственно разрушают почву, высвобождают из связанного состояния токсические для живых организмов элементы, усиливают коррозию металлов, разрушают здания и сооружения.

Еще больший ущерб кислотные дожди причиняют сельскохозяйственным культурам. Повреждаются покровные ткани растений, зеленый ассимиляционный аппарат растений, изменяется обмен веществ в клетках, нарушаются рост и развитие растений, уменьшается сопротивляемость к болезням и паразитам, снижаются доходы сельского хозяйства из-за падения урожайности культур.

Кислотные дожди подкисляют воду водоемов, что приводит к нарушению химического равновесия с подстилающими породами (особенно известняковыми) и подавлению жизнедеятельности популяций многих водных организмов (в большей степени беспозвоночных, фито- и зоопланктона).

Кислоты разрушают сооружения из мрамора и известняка. Это грозит Тадж-Махалу – шедевру индийской архитектуры периода Великих Моголов, Тауэру и Вестминстерскому аббатству (Лондон) и многим другим мировым шедеврам архитектуры.

## **6.6. Последствия экстремальных воздействий на биосферу**

### **6.6.1. Основные понятия и определения**

Экстремальные воздействия на окружающую среду природных и техногенных факторов рассматриваются другой академической дисциплиной «Защита населения и объектов в чрезвычайных ситуациях». Однако эти чрезвычайные ситуации (ЧС) во многих случаях могут приводить к значительным

негативным изменениям окружающей природной среды. Поэтому в данной главе кратко будут затронуты лишь экологические особенности воздействия этих факторов.

По сфере возникновения ЧС делятся на природные, техногенные, экологические, биолого-социальные и социальные.

**Природная ЧС** – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате возникновения опасного природного явления или процесса, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей, причинить ущерб здоровью людей и природной среде.

Различают термин *стихийное бедствие* – разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление или процесс значительного масштаба, в результате которого может возникнуть или возникла угроза жизни и здоровью людей, может произойти разрушение или уничтожение материальных ценностей и компонентов окружающей природной среды.

**Техногенная ЧС** – состояние, при котором в результате возникновения опасного техногенного происшествия на территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, экономике и окружающей природной среде.

*Авария* – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного и транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

**Катастрофа** – крупная авария, как правило, с человеческими жертвами.

**Промышленная катастрофа** – крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, вред здоровью людей либо разрушения и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также приводящая к серьезному ущербу окружающей природной среды.

**Экологические ЧС** могут быть вызваны естественными и антропогенными изменениями в природной среде.

Естественные процессы и аномалии в природной среде воздействуют на всю биосферу. К ним относятся воздействие космоса (солнечная радиация, гравитационные поля, галакти-

ческое излучение, полеты комет, астероидов и т.д.), Луны (гравитационное поле, отраженный свет), геофизической среды (магнитное поле Земли, электрические поля, радиация и т.д.), геологической среды и др.

*Экологическое бедствие* – чрезвычайное событие, вызванное изменением под действием антропогенных факторов состояния суши, атмосферы и биосферы и заключающееся в резко отрицательном влиянии этих изменений на здоровье людей, их духовную сферу, среду обитания, экономику или генофонд.

**Биолого-социальная ЧС** – состояние, при котором в результате возникновения источника такой ситуации на определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, существования сельскохозяйственных животных и произрастания растений, возникает угроза жизни и здоровью людей, распространения инфекционных болезней, потерь сельскохозяйственных животных и растений.

## 6.6.2. Катастрофы природного характера

**Природные катастрофы** вызываются экзогенными и эндогенными факторами, т.е. внешними околоземными или космическими и внутренними силами Земли, обусловленными процессами в ее недрах.

Внешние и внутренние силы природы тесно связаны между собой, развитие одних часто стимулирует появление других. В настоящее время растет не только количество природных катастроф, но и в результате человеческой деятельности увеличивается их мощность, что существенно сказывается на состоянии экосистем, отдельных ландшафтов, регионов, континентов и биосферы в целом.

К *внешним силам* природы, способным привести к катастрофическим последствиям для экосистем, относятся: изменения магнитного, электрического, гравитационного полей и радиационного пояса, вызванные явлениями, происходящими в космическом пространстве (вспышки сверхновых звезд, прохождения вблизи Земли больших космических тел); падение на Землю крупных метеоритов; ураганы; наводнения; цунами; сильные засухи; страшные ливни; оползни; осыпи; сели; обвалы.

К *внутренним силам* Земли вызываются извержения вулканов, землетрясения, перемещение громадных масс горных пород, образование в земной коре больших разломов и т.д.

К опасным природным явлениям и процессам относятся:

- геологические (землетрясение, вулканическое извержение, оползень, обвал (осыпь, камнепад), карст, просадка в лесовых грунтах, подработка берегов);
- гидрологические (подтопление, русловая эрозия, цунами, штормовой нагон воды, сель, наводнение, половодье, паводок, катастрофический паводок, затор, зажор, лавина снежная);
- природные пожары (ландшафтный, торфяной, лесной).

Последствиями крупнейших катастроф были региональные или глобальные климатические изменения, гибель многих животных, изменения развития различных видов, популяций и родов, мутации организмов. Палеонтологам и палеогеографам хорошо известны такие «критические эпохи» в развитии биосферы – в начале и конце палеозойской эры, на границе мезозоя и кайнозоя и др.

Резкие климатические изменения, а также катастрофические изменения геофизических полей Земли могут быть следствием таких грозных космических явлений, как вспышки сверхновых звезд. Установлено, что взрыв сверхновой звезды сопровождается очень мощными потоками ультрафиолетового и рентгеновского излучения, а также космических лучей высокой энергии, губительных для всего живого.

Ученые установили, что взрывы сверхновых звезд в нашей Галактике происходят один раз в 100 лет, а в окрестностях Солнечной системы (на расстоянии около 10 пк (парсек)) – один раз в 750 или даже в 200 млн лет. Следовательно, за время существования на Земле биосферы подобное катастрофическое явление могло повлиять на нее хотя бы несколько раз. В результате таких вспышек резко повышался радиационный фон Земли на многие сотни и даже тысячи лет. Это не могло не иметь серьезных биологических, особенно генетических последствий для экосистем планеты и, возможно, было причиной вымирания многих высших живых организмов.

Как считают астрономы, те же явления (только меньшего масштаба) происходят в случае периодических приближений Земли вместе с Солнечной системой к центру нашей Галактики. Солнечная система движется вокруг центра Галактики не по кругу, а по эллипсу со значительной разницей в длине его осей. Максимальные приближения к центру Галактики наблюдаются примерно раз в 250 млн лет. При вращении Сол-



нечной системы вокруг центра Галактики изменяются силы гравитационных, магнитных и электромагнитных полей в космосе, которые приводят к возмущениям геофизических полей на Земле. Эти возмущения стимулируют развитие вулканизма и землетрясений, движение тектонических плит и деформацию земной коры, а также способствуют периодическим изменениям климата (оледенение и потепление), что сопровождается экологическими катастрофами.

Большое влияние на биосферу Земли оказывают также возмущения геофизических полей вследствие периодических взрывов на Солнце, вспышек в его хромосфере, являющихся причиной появления на Земле полярных сияний, магнитных бурь и др.

С древних времен до наших дней на Земле периодически происходят грандиозные катастрофы, вызванные падением космических тел (крупных метеоритов, астероидов, комет). Ученые обнаружили на поверхности Земли много следов таких катастроф в виде гигантских метеоритных кратеров, т.е. воронкообразных углублений диаметром в десятки и даже сотни километров.

Такие катастрофические события природного характера, как землетрясения, извержения вулканов, тайфуны и др., имеют локальный характер и повлиять на эволюцию биосферы в целом не могут. Ураганы (тайфуны, тропические циклоны) образуются над теплыми водами Мирового океана, в его тропической зоне, и наибольший вред наносят странам бассейна Карибского моря, Бангладеш, Индонезии, Филиппинам.

### 6.6.3. Техногенные катастрофы

К *техногенным катастрофам* относятся аварии с выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ), транспортные аварии (катастрофы), пожары и взрывы, аварии с выбросом радиоактивных веществ, внезапное разрушение зданий и сооружений, аварии на системах жизнеобеспечения, гидродинамические аварии и др.

Крупными потребителями АХОВ являются промышленные холодильники, водоочистные сооружения, которые, как правило, находятся в крупных городах. Всего на территории

Беларуси функционируют более 540 химически опасных объектов с общим запасом АХОВ около 40 тыс. т, в том числе аммиака – 26 тыс. т, акрилонитрила – 5 тыс. т, ацетонциангидрида – 1,5 тыс. т, хлора – 300 т и др.

*Степень химической опасности* хозяйственных объектов определяется количеством населения, которое при авариях попадает в зону воздействия АХОВ:

- I степень – в зону попадает 75 тыс. человек – на территории Беларуси три объекта (ПО «Минскводоканал», Новополоцкое ПО «Полимир», ПО «Азот» в г. Гродно);
- II степень – от 40 до 75 тыс. чел. – 11 объектов;
- III степень – до 40 тыс. чел. – 228 объектов;
- IV степень – зона не выходит за пределы объекта – всего 103 объекта.

Наиболее опасные в химическом отношении города – Гродно, Новополоцк и Волковыск.

При ЧС на химически опасных объектах в зонах заражения АХОВ может оказаться до 5 млн человек, из них 4,5 млн. человек – городское население.

Наиболее сложная химическая обстановка может сложиться:

- в г. Гродно и Гродненском районе при аварии на ПО «Азот», где содержится около 20 тыс. т аммиака, что по глубине заражения составит до 24 км, площадь зоны заражения – до 900 км<sup>2</sup>, стойкость АХОВ – до 80 ч;
- в г. Новополоцке, где сосредоточено 11 тыс. т различных АХОВ, глубина зоны заражения до 20 км, площадь зоны заражения до 1000 км<sup>2</sup>, стойкость АХОВ 40–50 ч.

Любые широкомасштабные вмешательства в естественные экосистемы также имеют катастрофические последствия. Например, вследствие строительства на крупных реках плотин и водохранилищ:

- кардинально меняется режим речного стока (многократно замедляется);
- изменяется тепловой режим;
- изменяется характер биохимических и инженерно-геологических процессов, выпадения осадков, растворения солей, их отложения и т.д.;
- резко меняются условия взаимосвязи речных и подземных вод в данном бассейне, уровневый режим, физические и химические свойства поверхностных и связанных с ними подземных вод;

- развиваются процессы стагнации (гниения) и «цветения», застоя, накопления всех видов загрязнителей;
- вымирают виды водных организмов, нуждающихся в чистой воде и миграции их вдоль русла;
- погибают поймы – ценнейшие природные объекты.

Живые ресурсы планеты исчерпываются со скоростью, превышающей скорость их возобновления. Сейчас на Земле нет ни одного незатронутого деятельностью человека биогеоценоза.

То же можно сказать и о широкомасштабных ирригационных работах (осушение болот в Полесье, орошение на юге Украины), которые приводят к деградации болотных экосистем, гибели малых рек, изменению путей миграции перелетных птиц, смене режимов и объемов подземных вод, засолению почв.

Катастрофически влияет на природные ландшафты строительство крупных шахт, открытых карьеров, автомагистралей, аэропортов, мощных линий электропередач, каналов, тоннелей, больших свалок и шламохранилищ.

Возрастает количество катастроф, связанных с развитием нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей промышленности и атомной энергетики. Районы интенсивной добычи нефти и газа (Персидский и Мексиканский заливы, Северное море, Тюменский край, Каспийское море и другие регионы) сегодня стали зонами экологического бедствия. Потенциальную угрозу возникновения чрезвычайных экологических ситуаций составляют все крупные нефте- и газохранилища, трубопроводы, склады всевозможных химических веществ, особенно ядовитых (пестициды, кислоты, аммиак и др.). Человечество уже ощутило на себе последствия аварий на таких объектах.

## **6.6.4. Вооруженные конфликты**

### ***6.6.4.1. Общие сведения***

Самым мощным разрушительным фактором из всех воздействий человека на окружающую природную среду всегда были и остаются войны. Особенно это относится к возможным современным войнам.

**Война** – экстремальное явление общественной жизни, организованная вооруженная борьба между государствами, либо их коалициями и соответственно вовлеченными народами, либо между социальными группами или же этносами общества, выступающая продолжением их политики.

Война – специфический социальный конфликт с применением любых средств насилия как способа достижения политических целей и разрешения общественных противоречий политического характера.

Войны оказывают весьма существенное воздействие на биосферу Земли и жизнедеятельность населения. В условиях военного времени уменьшается численность населения, а в послевоенные годы происходит изменение его структуры. Начало и окончание войны приводят к массовому перемещению больших групп населения во время мобилизации, демобилизации, а также в связи с потоками беженцев и военнопленных. Войны, как правило, сопровождаются эпидемиями острозаразных заболеваний, в том числе и особо опасных инфекций. Современная война не обходится без значительных разрушений, которые сами по себе представляют угрозу жизни человека и обычно сопровождаются пожарами.

В результате военных действий поражаются природные ресурсы, гибнут исторические и культурные ценности (архитектурные ансамбли, произведения живописи, скульптуры, библиотеки и пр.), восстановить которые часто невозможно, а их утрата наносит невосполнимый ущерб исторической памяти народов.

Войны всегда были спутниками человеческой деятельности. С 1500 г. до н. э. и по 1900 г. н.э. люди воевали 3150 лет и только 250 лет жили в мире. С 1890 по 1938 г. (48 лет) произошло 24 войны, а с 1946 по 1979 г. (33 года) – 130 войн (ежегодно шли 3–5 войн). В XX в. самыми разрушительными были Первая и Вторая мировые войны.

В Первой мировой войне (1914–1918) участвовало 36 государств с населением более 1 млрд человек и численностью вооруженных сил 70 млн человек. Война разразилась на площади более 200 тыс. км<sup>2</sup>, в ней погибло более 10 млн человек.

Во Второй мировой войне (1939–1945) принимало участие 61 государство (33% всех государств мира) с населением 2 млрд человек и численностью вооруженных сил 110 млн человек. Война охватила территорию в 3,3 млн км<sup>2</sup>, в ней погибло более 50 млн человек.

Помимо огромного количества разрушенных городов и сел, гибели людей обширные земельные площади были заняты военными укреплениями, что сопровождалось большими разрушениями экологических систем. В 1943 г. под Курском в полосе только одного Центрального фронта шириной 300 км было вырыто свыше 5 тыс. траншей и ходов сообщений, установлено свыше 400 тыс. мин и фугасов.

Уничтожение лесов в военных целях представляет собой разрушение одного из главных компонентов и регуляторов биосферы Земли. Во время Первой мировой войны в заповеднике «Беловежская пуща» площадь леса уменьшилась на 25%. Во время Второй мировой войны только в Советском Союзе было вырублено и повреждено 20 млн гектаров леса. В войне во Вьетнаме в период с 1961 по 1973 г. вооруженные силы США применяли гербициды и уничтожили 570 тыс. га леса, 37 тыс. га посевов сельскохозяйственных культур, сильно повредили до 6 млн га леса.

Катастрофические экологические последствия вооруженной борьбы дополняются разрушительным воздействием на природу в мирное время. Чаще всего значительный ущерб природе и человеку наносится в мирное время при производстве, испытании, эксплуатации и утилизации вооружения и воинской техники. Огромный ущерб человечеству и природе наносят не только сами военные действия, но и подготовка к ним: содержание армий, техники, полигонов, военных объектов и заводов, проведение регулярных учений, маневров, захоронение отходов военной деятельности, в том числе опасных – химических. Например, в Балтийском море после окончания Второй мировой войны союзники затопили тысячи тонн немецких химических снарядов и авиабомб. На дно Атлантического и Тихого океанов, Карского и Охотского морей было сброшено много отработанных ядерных реакторов с подводных лодок и контейнеров с радиоактивными отходами. Спустя десятилетия они снова угрожают природе и человечеству: коррозия материалов оболочек вызывает «расползание» вредных веществ в окружающей среде и отравление всего живого.

Особого внимания заслуживают техногенные катастрофы, которые могут возникнуть от разрушения в ходе боевых действий экологически опасных объектов. Например, для осла-

бления обороноспособности города противник может уничтожить ГЭС и вызвать соответствующие последствия – затопление многих районов, разрыв коммуникаций, уничтожение или повреждение предприятий, отсутствие электрической энергии и, конечно, значительные человеческие жертвы. Но еще большую опасность несут в себе предприятия, которые и в мирных условиях являются источником опасности. Химические предприятия, АЭС, нефтеперерабатывающие заводы в случае их частичного или полного разрушения вызовут техногенные катастрофы и будут представлять значительную опасность для жизнедеятельности людей в районе их расположения.

### **6.6.4.2. Оружие массового поражения**

В современных условиях при возникновении широкомасштабной войны не вызывает сомнений возможность использования противниками оружия массового поражения.

В настоящее время наиболее разрушительным потенциалом обладает такое оружие массового уничтожения, как ядерное, химическое, бактериологическое. Все компоненты окружающей среды и в первую очередь человек весьма уязвимы для каждого из этих видов оружия.

**Ядерное оружие.** Оно характеризуется большой мощностью и различным поражающим действием, которое определяется воздействиями на окружающую среду ударной волны, светового излучения, проникающей радиации, радиоактивного заражения и электромагнитного импульса.

*Ударная волна* при ядерном взрыве обладает колоссальной разрушительной силой, нанося незащищенным людям и животным тяжелые травмы, вплоть до их гибели. Ударная волна разрушает здания и сооружения, а дальнейшее радиоактивное поражение делает пребывание на зараженной территории опасным для здоровья и жизни.

*Световой удар* приводит к слепоте, возгоранию одежды и предметов окружающей обстановки, массовым пожарам.

*Ядерный удар* характеризуется большим радиусом действия (120 км для заряда средней мощности), большими потерями среди людей (90% в радиусе 100 км) и еще большим количеством облученных (лучевая болезнь). После взрыва территория непригодна для проживания, а возникающие пожары разносят по ветру радиоактивные элементы.

Геофизические и экологические последствия ядерной войны могут оказаться не менее страшными, чем прямое действие оружия, даже если часть человечества спрячется глубоко под землей.

Тяжелые экологические последствия связаны с испытанием ядерного оружия и захоронениями радиоактивных отходов. Испытания атомных боезарядов на Новой Земле, в Казахстане, в пустыне Гоби, в штате Аризона, на Тихоокеанских островах Муруроа, Бикини, Эниветок, захоронение остатков отработанных атомных реакторов в Охотском море – все это не только вызывает значительное повышение общего радиоактивного фона на планете, в атмосфере и водах Мирового океана, но также приводит к массовым отравлениям рыбы, тюленей, заболеваний, гибели людей и животных в этих районах.

Еще больше бедствий может принести человечеству и всей планете возможная третья мировая война. В настоящее время мощность накопленных в мире запасов ядерного оружия составляет около  $16-18 \cdot 10^9$  т в тротиловом эквиваленте (ТЭ), т.е. на каждого жителя планеты приходится более 2,5 т ТЭ.

Вооруженные силы ядерных держав США, России, Китая, Великобритании, Франции и других стран обладают большим количеством (десятками тысяч) ракет с большой дальностью полета (более 11 тыс. км) и точностью попадания в цель до 100–200 м. Одна такая стратегическая ракета с одним ядерным зарядом в одну мегатонну способна уничтожить город с населением в 1 млн жителей. Поэтому, если разразится новая мировая война, она неизбежно станет глобальной ракетно-ядерной катастрофой не только для всего человечества, но и для всего живого на Земле.

В ряде стран (США, СССР, Канаде, Англии, Германии и др.) была проведена оценка последствий атомной войны для биосферы Земли – в частности, смоделировано более 20 различных сценариев такой войны, в ходе которой суммарная мощность взрывов может находиться в пределах 6,5 тыс. Мт (базовый сценарий) и 10–12 тыс. Мт (жесткий сценарий). Результаты моделирования показывают, что атомная война с неизбежностью приведет к глобальным изменениям климата и деградации биосферы в целом.

По прогнозным расчетам ученых, в первые сутки глобальной ракетно-ядерной войны может погибнуть более 700 млн человек.

В результате десятков тысяч взрывов на земной поверхности в атмосферу будут подняты миллионы тонн пыли, которая плотной завесой закроет Землю от солнечных лучей. Например, при мощности взрыва 5000 Мт в атмосферу поступает  $9,6 \cdot 10^8$  т аэрозолей, из которых 80% могут проникнуть в стратосферу. Кроме того, сильному загрязнению атмосферы аэрозольными и газообразными частицами будут способствовать многочисленные пожары, возникшие в результате взрывов. Наличие в атмосфере такого количества аэрозолей, газообразных примесей, дыма пожаров приведет к уменьшению притока солнечной радиации к земной поверхности, понижению температуры воздуха на планете и наступлению длительного периода темноты (*ядерная ночь*).

В результате ядерной войны через две недели температура воздуха на земной поверхности упадет в различных районах земного шара от  $-15$  до  $-50$  °С и ниже, средняя температура на поверхности Земли составит  $-25$  °С и наступит эффект, названный учеными и специалистами *ядерной зимой*. По прогнозам ученых, такой эффект будет продолжаться по всему земному шару не менее 1–1,5 лет. Все это в целом приведет к мировой экологической катастрофе.

Расчеты показывают, что пыль и дым распространятся на тропическую и большую часть Южного полушария. Таким образом, даже невоюющие страны, включая страны, находящиеся вдалеке от района конфликта, будут испытывать его губительное воздействие. Индия, Бразилия, Нигерия или Индонезия могут быть разрушены в результате ядерной войны, несмотря на то, что на их территории не разорвется ни одна боеголовка.

Ядерная зима вызовет почти полное разрушение существующих ныне экосистем, и в частности агроэкосистем, столь важных для поддержания жизнедеятельности человека. Вымерзнут все плодовые деревья, виноградники и т.п. Погибнут все сельскохозяйственные животные, поскольку инфраструктура животноводства окажется разрушенной.

Растительность частично может восстановиться (сохранятся семена), но этот процесс будет замедлен действием других факторов. *Радиационный шок* (резкий рост уровня ионизирующей радиации до 500–1000 рад) погубит большинство млекопитающих и птиц и вызовет серьезное лучевое поражение хвойных деревьев. Гигантские пожары уничтожат большую часть лесов, степей, сельскохозяйственных угодий. Во время



ядерных взрывов произойдет выброс в атмосферу большого количества оксидов азота и серы, которые выпадут на землю в виде кислотных дождей.

Недостаток солнечного света приведет к сильному ослаблению фотосинтеза, будет подорван продукционный процесс в биосфере. Возникнет кислородное голодание вследствие поглощения кислорода при пожарах и прекращения фотосинтеза. Погибнут многие экосистемы. Радиация и УФ-излучение приведут к подавлению иммунной системы человека и животных, что приведет к эпидемиям. Животный мир Земли будет мучительно погибать от холода, голода и эпидемий, которые уже начнутся в первые дни после начала ракетно-ядерной войны и будут продолжаться не менее 2–2,5 лет.

К последствиям атомных взрывов следует добавить радиацию от разрушенных АЭС (более 420); при этом 85% их расположено именно в северном полушарии. По расчетам, при реализации только базового сценария в северном полушарии около 60% населения сразу погибнет от ударной волны, ожогов и летальной дозы радиации, 25% будут поражены ионизирующей радиацией.

Среди возможных экологических последствий применения ядерного оружия, кроме массового радиационного и иных поражений населения, следует отметить изменение погоды и климата, разрушение озонового слоя, нарушение состояния ионосферы и т.п. (табл. 6.2).

**Таблица 6.2. Экологические последствия основных крупномасштабных поражающих факторов ядерной войны**

Основные крупномасштабные эффекты	Возможные экологические последствия
1	2
Загрязнение биосферы радиоактивными продуктами	Изменение электрических свойств атмосферы, погоды, свойств ионосферы. Массовое радиационное поражение населения
Загрязнение атмосферы аэрозольными продуктами	Изменение радиационных свойств атмосферы, погоды и климата
Загрязнение различными газообразными веществами (метаном, этиленом и др.): тропосферы	Изменение радиационных свойств атмосферы, погоды и климата

1	2
верхней атмосферы	Изменение радиационных свойств верхней атмосферы, нарушение озонового слоя; изменение возможности прохождения УФ-излучения; изменение климата
Изменение альbedo земной поверхности	Изменение климата

Все вышеуказанное является научным фактом, полученным и доказанным в 80-х гг. XX в. на компьютерных моделях двумя независимыми группами ученых США и Советского Союза под руководством видного астрофизика Корнелльского университета, Президента Планетарного общества США Карла Сагана и выдающегося ученого, математика и философа АН СССР М.Н. Моисеева.

Эти выводы подтверждаются и натурными экспериментами, происходящими в районах непосредственного извержения вулканов или же в период прохождения солнечного затмения (например, быстрым похолоданием земной поверхности), а также явлениями «пылевых бурь», которые наблюдаются на поверхности Луны.

**Химическое оружие.** Этот вид оружия предназначен для уничтожения человека и биоты с помощью боевых отравляющих веществ – газов, жидкостей или твердых веществ. Средствами их доставки являются ракеты, мины, снаряды, бомбы или распыление с самолетов.

Химические отравляющие вещества способны внедряться и передвигаться по трофическим цепям, представляя высокую токсическую опасность для жизнедеятельности организмов. В больших количествах химическое оружие применялось во время Первой мировой войны и войны во Вьетнаме. В 1914–1918 гг. боевые отравляющие вещества, в основном иприт, вызвали гибель 10 тыс. человек и 1,2 млн человек сделали инвалидами.

В настоящее время, несмотря на международный запрет, накоплены боевые отравляющие вещества нервно-паралитического действия (зарин, табун, зоман и др.), а также психогенного, общедовитого и удушающего действия. Все они вызывают крайне негативное влияние на природные экосистемы, вызывая массовые поражения людей, гибель большей части популяций любых позвоночных животных, растений.

В истории человечества хорошо известна химическая война США против Вьетнама, в ходе которой американская армия широко использовала химическое оружие, повлекшее многочисленные жертвы среди мирного населения и тяжелые экологические последствия.

За время войны армия США распылила на 10% территории Южного Вьетнама 77 млн л дефолиантов «Agent Orange» для уничтожения лесов, в том числе 44 млн л дефолиантов, содержащих диоксин.

Диоксин является стойким веществом. Попадая в организм человека с водой и пищей, он вызывает различные заболевания печени и крови, массовые врожденные уродства новорожденных и нарушения нормального протекания беременности. После применения американскими военными дефолиантов уже после войны погибло несколько десятков тысяч человек. Всего во Вьетнаме насчитывается около 4,8 млн жертв распыления дефолиантов, в том числе 3 млн непосредственно пострадавших, из них свыше 1 млн человек в возрасте до 18 лет стали инвалидами, страдающими наследственными заболеваниями.

Американские военные также применяли газы; вызывали искусственное облакообразование и кислотные дожди, применяя обработку облаков химикатами и закисление атмосферы; распыляли химикаты, вызывающие сильные пожары в джунглях.

Масштабное применение американскими войсками химикатов привело к тяжелым последствиям. Практически полностью были уничтожены мангровые леса (500 тыс. га), поражено 60% (около 1 млн га) джунглей и 30% (более 100 тыс. га) равнинных лесов. С 1960 г. урожайность каучуковых плантаций снизилась на 75%. Американские войска уничтожили от 40 до 100% посевов бананов, риса, сладкого картофеля, папайи, помидоров, 70% кокосовых плантаций, 60% гевеи, 110 тыс. га плантаций казуарины.

В результате применения химикатов серьезно изменился экологический баланс Вьетнама. В пораженных районах из 150 видов птиц осталось 18, произошло почти полное исчезновение земноводных и насекомых, сократилось число рыб в реках и изменился их состав. Был нарушен микробиологический состав почв, отравлены растения. Резко сократилось число видов древесно-кустарниковых пород влажного тропического леса: в пораженных районах остались единичные виды деревьев и несколько видов колючих трав, не пригодных в корм скоту.

Изменения в фауне Вьетнама повлекли вытеснение одного вида черных крыс другими видами, являющимися разносчиками чумы в Южной и Юго-Восточной Азии. В видовом составе клещей появились клещи – разносчики опасных болезней. Аналогичные изменения произошли в видовом составе комаров – вместо безвредных комаров-эндеминов появились комары – разносчики малярии.

**Биологическое оружие.** Биологическим, или бактериологическим, оружием называют бактериальные средства (бактерии, вирусы и др.), яды (токсины), предназначенные для массового поражения людей. Они могут использоваться с помощью живых переносчиков заболеваний (грызунов, насекомых и др.) либо в виде боеприпасов, начиненных зараженными порошками или жидкостью.

Бактериологическое оружие способно вызывать массовые инфекционные заболевания людей и животных чумой, холерой, сибирской язвой и другими болезнями. Многие бактерии образуют споры, которые могут сохраняться в почве в течение десятилетий.

Применение своеобразного биологического оружия было известно еще в древнем мире, когда при осаде городов за крепостные стены перебрасывались трупы умерших от чумы, чтобы вызвать эпидемию среди защитников. Подобные меры были относительно эффективны, так как в замкнутых пространствах, при высокой плотности населения и при ощущении недостатка средств гигиены подобные эпидемии развивались очень быстро. Самый ранний случай применения биологического оружия относится к V в. до н. э.

При поражении бактериальными средствами заболевание наступает не сразу, почти всегда имеется скрытый (инкубационный) период, в течение которого заболевание не проявляет себя внешними признаками, а пораженный не теряет боеспособности. Некоторые заболевания (чума, оспа, холера) способны передаваться от больного человека к здоровому и, быстро распространяясь, вызывать эпидемии. Установить факт применения бактериальных средств и определить вид возбудителя достаточно трудно, поскольку ни микробы, ни токсины не имеют ни цвета, ни запаха, ни вкуса, а эффект их действия может проявиться через большой промежуток времени.

В современных стратегических средствах биологического оружия для увеличения вероятности летальных исходов у противника используются смеси вирусов и спор бактерий. Особое

место в структуре биологического оружия занимают средства, позволяющие воздействовать не только на биосферу, но и на генотип человека.

Особенностью такого вида оружия является опасность возникновения и распространения биотерроризма, так как один человек из небольшого количества разрешенных компонентов может изготовить биологическое оружие с губительной мощностью, не уступающей атомной бомбе. В общем случае **биотерроризм** – это использование биологических агентов или токсинов для уничтожения человеческих, продовольственных (в том числе сельскохозяйственных), биологических, экологических ресурсов или получение над ними внешнего контроля.

### **6.6.4.3. Экологические войны**

Активное воздействие на природные процессы позволяет создать простейшие и наиболее экономичные разрушительные средства с результатами, оставляющими далеко позади все прочие виды оружия массового поражения. Кроме того, на природные условия можно воздействовать дистанционно, на значительном удалении от места, на которое направлен «удар», что создает благоприятные возможности для ведения тайной войны.

**Экологическую войну** можно охарактеризовать как совокупность специально разработанных и конкретизированных в оперативных планах способов ведения боевых действий, направленных на поражение (уничтожение) окружающей природной среды (как правило, на территории противника).

Способы ведения экологической войны могут включать в себя:

- поражение природной среды различными агентами физической, химической или биологической природы;
- физическое истребление флоры и фауны;
- генерирование техногенных катастроф путем разрушения потенциально экологически опасных объектов;
- генерирование стихийных бедствий путем активного воздействия на элементы биосферы.

Поскольку любой из этих способов ведения вооруженной борьбы определяется наличием и возможностями средств поражения, то в экологической войне могут быть использованы

не только специально созданные средства для уничтожения окружающей природной среды, но и другие виды вооружений и военной техники (ВВТ), в том числе оружие массового поражения: например, искусственное разрушение слоя озона, рассеивание и образование облаков и туманов, инициирование землетрясений, создание приливных волн типа цунами, воздействие на тропические циклоны, использование атмосферных течений для переноса радиоактивных и других веществ, создание зон возмущений в ионосфере. Каждый из них несет в себе опасность как для участников вооруженного конфликта, так и для других государств.

О последствиях такого воздействия на природную среду красноречиво свидетельствуют расчеты, проведенные американскими учеными. Они установили, что, например, снижение в США среднегодовой температуры всего на 1 °С, сопровождаемое увеличением осадков на 12,5%, приведет к такому повышению количества заболеваний среди населения, что суммарные экономические потери могут составить более 100 млрд дол. в год. Аналогичные изменения приведут к снижению урожайности пшеницы в основных зернопроизводящих странах (США, Аргентина, Австралия, Канада, Франция) на 15–17%.

В настоящее время можно выделить следующие разновидности экологического оружия:

- *метеорологическое* – воздействует на атмосферные процессы; использует атмосферные перемещения радиоактивных, химических, бактериологических веществ; создает зоны возмущений в ионосфере, устойчивых радиационных поясах; вызывает пожары и огненные бури; разрушает слой озона; изменяет газовый состав в локальных объемах; воздействует на атмосферное электричество;

- *гидросферное* – способно изменять химические, физические и электрические свойства океана, создавать приливные волны типа цунами, загрязнять внутренние воды, разрушать гидротехнические сооружения и инициировать наводнения, склоновые процессы, воздействовать на тайфуны и др.;

- *литосферное* – может инициировать землетрясения, стимулировать извержение вулканов;

- *климатическое* – изменяет климат и температурные режимы в определенных районах, разрушает подстилающую поверхность (почвенный и растительный покров земли).

### 6.6.5. Информационные войны

Первым термин *информационная война* использовал американский эксперт Томас Рона в отчете «Системы оружия и информационная война», подготовленным им в 1976 г. для компании Boeing. Под информационной войной он понимал действия, предпринимаемые для достижения информационного превосходства в поддержке национальной военной стратегии посредством воздействия на информацию и информационные системы противника при одновременном обеспечении безопасности и защиты собственной информации и информационных систем.

Информационная война представляет собой согласованную деятельность по использованию информации как оружия для ведения действий в различных сферах: экономической, политической, социальной.

Понятия, используемые для определения и изучения информационной войны и ее последствий, все еще не устоялись и могут измениться в будущем.

Национальным Институтом обороны США была опубликована классическая работа в этой области Мартина Либики. В ней автор определил семь форм информационных войн:

1) командно-управленческую – нацелена на каналы связи между командованием и исполнителями с целью их уничтожения или нарушения;

2) разведывательную – сбор важной в военном отношении информации о противнике и защита собственной;

3) электронную – направлена против средств электронных коммуникаций (радиосвязи, радиолокационных станций, компьютерных сетей);

4) психологическую – пропаганда, «промывание мозгов», информационная обработка населения с целью подрыва гражданского духа, деморализации вооруженных сил, дезориентации командования и противопоставления культур. Она основана на возможности управления и манипулирования общественным сознанием, подчинения воли человека;

5) хакерскую – подразумевает диверсионные действия против гражданских объектов противника и защиту от их ответного воздействия. Действия хакеров могут привести к тотальному параличу сетей, перебоям связи, введению случайных ошибок в пересылку данных, воровству информации и

услуг (несанкционированным подключениям к сетям), тайному мониторингу сетей, несанкционированному доступу к закрытым данным с целью шантажа;

б) кибернетическую – отличается от «обычного» хакерства. Она заключается в противостоянии в интернет-сети, направленном в первую очередь на выведение из строя компьютерных систем государственных органов страны-противника, а также систем критических отраслей ее инфраструктуры;

7) экономическую информационную войну.

Особую опасность для небольших стран представляет *психологическая война*. При ведении такой войны в общественное сознание народа страны – жертвы агрессии внедряются такие ложные представления об окружающем мире, которые позволяют агрессору в дальнейшем свободно манипулировать как правительством, так и народом этой страны и осуществлять захват необходимых ресурсов, практически не встречая никакого сопротивления, т.е. без вооруженного столкновения обычного типа.

Для ведения информационных войн используется и соответствующее оружие.

**Информационное оружие** можно классифицировать по методам воздействия на информацию, информационные процессы и информационные системы противника. Это воздействие может быть физическим, информационным, программно-техническим или радиоэлектронным.

Физическое воздействие на элементы информационной системы противника может осуществляться с помощью противорадиолокационных ракет, специализированных аккумуляторных батарей генерации импульса высокого напряжения, средств генерации электромагнитного импульса, графитовых бомб, биологических и химических средств воздействия на элементную базу.

Информационные методы воздействия реализуются посредством всей совокупности средств массовой информации и глобальных информационных сетей (интернет), а также станциями голосовой дезинформации.

Так как основным элементом информационной инфраструктуры являются люди, мотивация деятельности которых базируется на их физиологических, социальных и информационных потребностях, то правильно рассчитанное применение так называемых информационно-психологических методов



воздействия оказывает прямое влияние на уровень безопасности государства. Проходя через сознание каждого члена общества, длительное массированное информационно-психологическое воздействие разрушающего характера создает реальную угрозу существованию нации в результате трансформации ее исторически сложившейся культуры, основных мировоззренческих и идеологических установок.

Станции голосовой дезинформации, разрабатываемые в настоящее время в США, позволяют входить в радиосети объекта воздействия и смоделированным компьютерными средствами голосом командира подразделения противника отдавать приказы и распоряжения подчиненным им войскам, тем самым нарушая управление ими.

Средствами реализации программно-технических методов являются компьютерные вирусы, логические бомбы и аппаратные закладки, а также специальные средства проникновения в информационные сети. Данные средства используются для сбора, изменения и разрушения информации, хранящейся в базах данных, а также для нарушения или замедления выполнения различных функций информационно-вычислительных систем.

Программно-технические средства классифицируются в зависимости от выполняемых задач и подразделяются:

- на средства сбора информации;
- средства искажения и уничтожения информации;
- средства воздействия на функционирование информационных систем.

Причем некоторые средства могут быть универсальными и использоваться как для искажения или уничтожения информации, так и для воздействия на функционирование информационных систем объекта воздействия.

Средства сбора информации позволяют производить несанкционированный доступ к компьютерным системам, определять коды доступа, ключи к шифрам или другую информацию о зашифрованных данных и по каналам обмена передавать полученные сведения заинтересованной стороне.

В настоящее время разработаны специальные программные продукты, так называемые *ноуботы* (*Knowbot – Knowledge Robot*), которые способны перемещаться в информационной сети от компьютера к компьютеру и при этом размножаться, создавая копии. Ноубот вводится в компьютерные системы и, обнаружив интересующую его информацию, оставляет

в этом месте свою копию, которая собирает информацию и в определенное время передает ее. С целью исключения их обнаружения в программах «ноубот» могут быть предусмотрены функции самоперемещения и самоуничтожения.

Задачи сбора информации решаются с помощью программных продуктов «Демон» («Demon»), «Вынюхиватели» («Sniffers»), «Дверь-ловушка» («Trap Door»). Программный продукт «Демон», введенный в систему, записывает все поступающие команды и в определенное время передает информацию об этих командах. Аналогично действуют и «Вынюхиватели», которые считывают и передают первые 128 бит информации, необходимых для входа в систему. Программы используются для вскрытия кодов доступа и шифров. «Дверь-ловушка» позволяет осуществлять несанкционированный доступ к информационным массивам баз данных в обход кодов защиты. При этом система и элементы защиты его не распознают.

Созданы и постоянно модернизируются специальные технические устройства, позволяющие считывать информацию с мониторов компьютеров. Перспективным является также создание миниатюрных специализированных комплексов сбора, обработки и передачи информации, которые могут внедряться под видом обычных микросхем в состав самых различных радиоэлектронных устройств.

Средства искажения и уничтожения информации включают программные продукты «Троянский конь» («Trojan Horse»), «Червь» («Worm»), а также многочисленные компьютерные вирусы, количество которых уже превышает 60 тыс. К средствам воздействия на функционирование информационных систем относятся «Логические бомбы», «Бомбы электронной почты» и т.д.

*Логическая бомба* представляет собой инструкцию, находящуюся в неактивном состоянии до получения команды на выполнение определенных действий на изменение или разрушение данных, а также на нарушение работоспособности информационно-вычислительных систем.

*Бомбы электронной почты* – это большой объем несанкционированных сообщений с целью увеличения нагрузки на сервер таким образом, чтобы он стал недоступен или его ресурсы стали недостаточными для нормальной работы.

*Радиоэлектронные методы воздействия* предполагают использование средств радиоэлектронного подавления, радиоэлектронной разведки и др. Основным предназначением тако-

го оружия является контроль информационных ресурсов потенциального противника и скрытое или явное вмешательство в работу его систем управления и связи в целях дезорганизации, нарушения нормального функционирования или вывода их из строя.

Универсальность, скрытность, многовариантность форм программно-аппаратной реализации, радикальность воздействия, достаточный выбор времени и места применения и экономичность делают информационное оружие чрезвычайно опасным: оно легко маскируется под средства защиты, например, интеллектуальной собственности; позволяет вести наступательные действия анонимно, без объявления войны.

Особое направление составляют *семантические атаки*. Отличие такой атаки от хакерства в том, что хакер заставляет систему работать неправильно. При семантической атаке компьютерная система работает абсолютно правильно, но решения, которые она выдает, неверны. Семантическая атака направлена на «органы чувств» компьютерной системы, контролирующей какой-либо процесс с помощью датчиков. Обмануть эти датчики или другие средства ввода – значит, вывести систему из строя, ничего в ней не нарушив.

Программные средства, предназначенные для воздействия на информационные ресурсы противника, интенсивно развиваются.

При проведении информационной войны против государства страна-захватчик может ставить следующие цели:

- дестабилизацию экономики и институтов власти (законодательной, исполнительной и судебной) с последующей заменой их марионеточными;
- доступ к ресурсам и рынкам сбыта;
- обогащение;
- уничтожение или ослабление научно-исследовательских, конструкторских и проектных учреждений, армии, наукоемких производств и т.д.;
- внедрение в сознание населения собственных ценностей и идеалов;
- создание оппозиционных власти сил, оказание им помощи и поддержки;
- влияние на внешние и внутренние политические решения страны путем лоббирования или игнорирования принятия законов в других странах и т.д.

Поле действия информационных войн охватывает следующие области:

- инфраструктуру систем жизнеобеспечения государства (телекоммуникации, транспортные сети, электростанции, банковские системы и т.д.). Подобные действия могут быть предприняты геополитическими или экономическими противниками или террористическими группами;

- промышленный шпионаж – хищение патентованной информации, искажение или уничтожение особо важных данных, услуг; сбор информации разведывательного характера о конкурентах, акты саботажа в форме искажения или уничтожения данных и т.п.;

- взлом и использование личных паролей VIP-персон, идентификационных номеров, банковских счетов, данных конфиденциального плана, производство дезинформации;

- электронное поле боя представлено постоянно растущим арсеналом электронных вооружений, преимущественно засекреченных. Электронное вмешательство в процессы командования и управления военными объектами и системами, «штабная война», вывод из строя сетей военных коммуникаций.

В настоящее время в США созданы и приняты на вооружение различные системы информационного оружия (ИНФОР), которые по назначению и объектам воздействия делятся на три вида:

- ИНФОР-1 – нарушает и парализует информационные системы и сети, обеспечивающие функционирование органов управления государственных и военных объектов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, банков и других учреждений. К этому виду относятся компьютерные вирусы, логические бомбы и другие аналогичные средства;

- ИНФОР-2 – оказывает влияние на психику людей, что в конечном итоге позволяет управлять их поведением. Имеются сообщения о так называемом вирусе № 666, который обладает способностью губительно воздействовать на психофизиологическое состояние оператора ЭВМ. Этот вирус-убийца выдает на экран особую цветовую композицию, погружающую человека в своеобразный гипнотический транс и вызывающую у него подсознательное восприятие, которое меняет функционирование сердечно-сосудистой системы вплоть до блокировки сосудов головного мозга;

- ИНФОР-3 – новое поколение оружия, возможности которого держатся в секрете; однако можно предположить, что по результатам своего воздействия оно будет более эффективно и разрушительно.

Таким образом, переход информации в разряд важнейших ресурсов человечества и возникновение проблемы обладания этим ресурсом ведут к пересмотру основных стратегических концепций ведения боевых действий в XXI в. Становится совершенно ясно, что информационное превосходство будет главной составляющей военной стратегии XXI в. подобно тому, как в начале XX в. такими составляющими являлись господство в воздухе и массированное применение бронетанковой техники.

Особенно остро проблемы защиты собственных информационных ресурсов в открытых сетях встают перед странами, которые технологически отстают в области информационных и телекоммуникационных технологий от США или Западной Европы.

К основным задачам в сфере обеспечения информационной безопасности можно отнести следующие:

- формирование и реализацию единой государственной политики по обеспечению защиты национальных интересов от угроз в информационной сфере;
- совершенствование законодательства в сфере обеспечения информационной безопасности;
- координацию деятельности органов государственной власти по обеспечению информационной безопасности;
- установление необходимого баланса между потребностью в свободном обмене информацией и допустимыми ограничениями ее распространения;
- совершенствование информационной структуры, ускорение развития новых информационных технологий и их широкое распространение, унификацию средств поиска, сбора, хранения, обработки и анализа информации с учетом вхождения Беларуси в глобальную информационную инфраструктуру;
- развитие отечественной индустрии телекоммуникационных и информационных средств, их приоритетное по сравнению с зарубежными аналогами распространение на внутреннем рынке;
- защиту государственных информационных ресурсов – прежде всего в органах государственной власти, на предприятиях оборонного комплекса;
- обеспечение сохранности и защиты культурного и исторического наследия (в том числе музейных, архивных, библиотечных фондов, основных историко-культурных объектов).

### Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные признаки современного глобального экологического кризиса.
2. Какие глобальные и региональные последствия загрязнения окружающей среды прогнозируются для Беларуси?
3. Охарактеризуйте глобальное изменение климата, истощение озонового слоя, демографический кризис.
4. Какие последствия для Беларуси возможны при глобальном изменении климата?
5. Что такое кислотные дожди и их воздействие на окружающую среду?
6. Опишите экологические катастрофы природного и техногенного характера.
7. Определите основные последствия использования ядерного, химического и биологического оружия.
8. В чем заключается опасность экологических войн с использованием природных процессов?
9. Перечислите основные методы ведения информационных войн и их последствия.

## ГЛАВА 7

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

---

### 7.1. Природопользование и его виды

Ресурсы биосферы как важнейшие факторы среды (солнечная энергия, свет, пища, вода, теплота, почва, т.е. все то, что необходимо для жизни на Земле) были описаны ранее. В данной главе они будут рассмотрены с позиций использования их в общественном производстве.

**Ресурсы** – это вещества, материалы, силы и потоки вещества, энергии, а также информации, которые:

- образуют входные звенья природных или хозяйственных циклов, являются их необходимыми участниками и в связи с этим носителями функции полезности;

- имеют измеряемое количественное выражение (массу, объем, плотность, концентрацию, интенсивность, мощность, стоимость);

- при изменениях во времени подчиняются фундаментальным законам сохранения вещества и энергии.

Все естественные материальные и энергетические ресурсы, используемые человеком, принято называть природными ресурсами. При этом часто забывают, что большинство из них является ресурсами не только для человека, но и для живой природы. Природные ресурсы – основная часть экономических ресурсов, т.е. это не только факторы среды, но и факторы производства.

**Природные, или естественные, ресурсы** – это часть совокупности природных условий и важнейших компонентов природной среды, которые используются либо могут использоваться для удовлетворения всех потребностей общества и общественного производства.

Свод экономических, экологических, организационных и технических показателей, характеризующих количество и качество природного ресурса, а также состав и категории природопользователей, называется *кадастром*.

Государственные кадастры природных ресурсов ведутся для учета количественных, качественных и иных характеристик, характера и режима их использования. В Беларуси ведутся следующие кадастры: земельный, недр, водный, атмосферного воздуха, лесной, растительного мира, животного мира, торфяного фонда, а также отходов. Следует также выделить кадастр особо охраняемых территорий, содержащий сведения о территориях с особым режимом использования (заповедниках, заказниках, национальных парках).

К кадастрам необходимо отнести *Красную книгу* (список редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных), а также *Зеленую книгу* (свод данных о редких, исчезающих и типичных растительных сообществах, нуждающихся в особой охране).

**Природопользование** – это удовлетворение различных потребностей человеческого общества путем использования природных ресурсов и природных условий.

Природопользование определяется также как система непосредственных взаимоотношений человека с природой, возникающих в процессе трудовой деятельности людей, и включает мероприятия по освоению, охране и восстановлению свойств окружающей среды.

Существуют две формы природопользования – общее и специальное.

*Общее природопользование* не требует специального разрешения и осуществляется гражданами на основе принадлежащих им естественных (гуманитарных) прав (пользование водой, воздухом и т.п.).

*Специальное природопользование* осуществляется физическими и юридическими лицами на основании разрешения уполномоченных государственных органов. Оно носит целевой характер и по видам используемых объектов подразделяется на землепользование, водопользование, лесопользование и др.

Природопользование может быть нерациональным и рациональным.

*Нерациональное природопользование* – это бездумное, хищническое, нерасчетливое изъятие природных ресурсов, которое сопровождается явлениями загрязнения, истощения и деградации природных систем, ведет к качественному ухудшению природной среды, нарушению баланса экологических компонентов и разрушению биогеоценозов. Все это в итоге



сказывается на состоянии человеческой популяции и прежде всего на таких ее показателях, как здоровье, рождаемость и смертность.

Нерациональное природопользование может быть результатом как преднамеренного (сознательного) потребительского отношения, так и непреднамеренного (стихийного или попутного) воздействия общества на природу.

Нерациональное природопользование характерно для экстенсивного хозяйства, т.е. для хозяйства, развивающегося путем нового строительства, освоения новых земель, использования природных ресурсов, увеличения числа работающих. Экстенсивное хозяйство приносит сначала неплохие результаты при сравнительно низком научно-техническом уровне производства, но быстро приводит к исчерпанию природных и трудовых ресурсов.

Одним из многочисленных примеров нерационального природопользования может служить подсечно-огневое земледелие, распространенное и в наше время в юго-восточной Азии. Выжигание земель приводит к уничтожению древесины, загрязнению атмосферы, возникновению плохо контролируемых пожаров и т.д. Часто нерациональное природопользование является следствием узковедомственных интересов и интересов транснациональных корпораций, располагающих свои вредные производства в развивающихся странах.

Типичные признаки нерационального природопользования – это вымирание отдельных видов флоры и фауны, снижение плодородия почв, появление антропогенных пустынь и земель, непригодных для их дальнейшего использования, загрязнение атмосферы и поверхностных вод отходами производства. Рост загрязненности окружающей среды является не только препятствием для развития производства, но и угрозой для жизни людей.

*Рациональное природопользование* направлено на разумное освоение природных ресурсов, предотвращение возможных негативных последствий человеческой деятельности для биосферы, поддержание, повышение продуктивности и привлекательности природных комплексов и отдельных природных объектов. Оно предполагает такое вовлечение природных богатств в сферу общественно-производственной деятельности, которое обеспечивает потребности и настоящего, и всех будущих поколений людей без значительного изменения качества окружающей среды и ее разнообразия.

Рациональное природопользование может быть организовано только при заинтересованности всего общества. Оно осуществляется совместными усилиями представителей технических, естественных и общественных наук, правительств и всех граждан планеты. Рациональное природопользование призвано обеспечить необходимыми условиями процветание и прогресс человечества, получение им материальных благ, максимальное использование каждого ресурса природного комплекса и одновременное предотвращение возможных негативных последствий для каждого звена этого комплекса, а также полное исключение отрицательных последствий процесса производства для биосферы в целом.

Рациональное природопользование немислимо без научно обоснованных технологий производства путем разумного использования естественных ресурсов без нарушения природной сбалансированности экосистем.

В настоящее время общепринято, что кардинальным путем охраны окружающей среды и рационального природопользования является создание и внедрение безвредных малоотходных, а в итоге безотходных и бессточных технологий.

Пути совершенствования существующих и создаваемых технологических процессов, отвечающих принципам рационального природопользования, объединяются понятием *экологизация производства*.

Основным направлением экологизации производства является разработка и научное обоснование новых экологически безопасных технологий, комплексное и многократное использование природных ресурсов и отходов производства, а также восстановление окружающего мира.

Только эффективные меры по контролю, охране и защите природной среды могут гарантировать продолжение существования человека, настоящего и будущих поколений людей. Неконтролируемое загрязнение природной среды в современных условиях чревато угрозой глобального изменения, трансформации биосферы, в которой не найдется места человеку как виду.

Таким образом, наша цивилизация вынуждена использовать все имеющиеся возможности ресурсосбережения, в том числе и энергосбережения.

Энергосбережение в промышленном производстве заключается в совершенствовании технологии и аппаратурного оформления с целью максимального использования первич-

ных и утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), что в конечном итоге приводит к сокращению загрязнения окружающей среды предприятиями энергетики.

## **7.2. Классификация природных ресурсов**

Для изучения и рационального использования природных ресурсов целесообразно провести их разделение по классам (видам), для того чтобы выработать обобщенные методы рационального их использования.

Существуют различные подходы к изучению и классификации природных ресурсов. Экологический подход базируется на понятии «интегральный ресурс» (по Н.Ф. Реймерсу), который включает все природные, трудовые и материальные ресурсы.

Естественная классификация основана на разделении ресурсов по компонентам природной среды: земельные, минеральные, водные, климатические, растительные, животного мира и т.п.

В хозяйственной классификации ведущее значение имеет отраслевая принадлежность: ресурсы топливно-энергетического комплекса, металлургии, химической промышленности, сельского хозяйства, лесоперерабатывающей промышленности и т.д.

По отношению к компонентам биосферы различают биологические, экологические, геологические, климатические, минеральные, земельные, водные, генетические, растительные, животные, лесные и другие ресурсы.

С технологической точки зрения природные ресурсы принято делить по принадлежности к соответствующим геосферам Земли: ресурсы литосферы (почва, полезные ископаемые), ресурсы гидросферы (наземные и подземные водные источники), ресурсы атмосферы (атмосфера), ресурсы органического мира (растения, животные и человек).

По характеру использования природные ресурсы классифицируются на промышленные, сельскохозяйственные, минерально-сырьевые, топливно-энергетические, продовольственные, оздоровительные, рекреационные, ландшафтно-курортные и др. Строгой границы между категориями ресурсов не существует.

С эколого-экономической точки зрения важна классификация природных ресурсов по признакам их исчерпаемости. По своему качеству они могут быть исчерпаемыми и неисчерпаемыми.

*Исчерпаемые ресурсы* в свою очередь делятся:

- на возобновляемые природные ресурсы – ресурсы, которые могут возобновляться во времени: растения, животные, человеческая популяция, мир микроорганизмов, атмосферный кислород и некоторые другие. Они возобновляются в результате естественных природных процессов и поддерживаются на относительно постоянном уровне. Состояние этих ресурсов в большой степени зависит от интенсивности и направления хозяйственной деятельности человека. Эти ресурсы создаются на Земле благодаря текущему потоку солнечной энергии: теплота, атмосферная влага, вода осадков и всех пресных вод, течение рек и гидроэнергия, энергия ветров, волн и течений, почва, все живые организмы, биосфера и, наконец, сам человек. Для различных возобновляемых, особенно для биологических, ресурсов существуют пределы скорости изъятия и степени истощения, после превышения которых уже невозможно возобновление, так как нарушается его естественный режим. Чаще всего это относится к численности популяции или биоразнообразию экосистем. Но это может быть отнесено и к биосфере в целом;

- невозобновляемые природные ресурсы – это те естественные ресурсы, которые не могут быть восстановлены ни самостоятельно, ни с помощью человека в современной геологической эпохе: ископаемое топливо (нефть, природный газ, каменный уголь и т.д.). Эти виды ресурсов имеют конечные запасы и практически невосполнимы в биосфере, так как уже невозможно воссоздание тех специфических физико-химических условий, при которых они образовались в отдаленные времена;

- относительно возобновляемые ресурсы – это ресурсы, которые способны к воспроизводству в темпах, отстающих от темпов потребления. Например, процесс образования черноземного слоя почвы толщиной в 1 см длится столетия, а разрушается он при традиционной системе земледелия за несколько вегетационных периодов.

*Неисчерпаемые природные ресурсы* – это атмосферный воздух, вода и космические ресурсы, связанные единым круговоротом вещества и энергии. Наиболее уязвимыми считаются атмосферный воздух и вода, так как под действием антропогенных факторов наметились тенденции к их качественному

изменению и истощению, что доказывает действие в техно-сферных условиях XXI в. закона ограниченности (исчерпаемости) всех природных ресурсов.

К космическим ресурсам относятся энергия Солнца, ветра, приливно-отливных движений воды и морских течений, осадки, глубинная теплота недр. Они пока еще не в столь значительной степени подвергаются антропогенному воздействию и использованию в хозяйственной деятельности человека, как иные естественные ресурсы.

Все природные ресурсы также подразделяются на реальные и потенциальные.

*Реальные природные ресурсы* используются непосредственно в производстве при ныне существующем развитии технологий.

*Потенциальные ресурсы* – это те ресурсы, которые в настоящее время недоступны для производственной деятельности, но заведомо будут использоваться со временем по мере развития техники и технологий. Независимо от их принадлежности к какой-либо категории они в совокупности поддерживают нормальное функционирование экосистем, поэтому также должны рассматриваться как экологические, или ресурсы окружающей среды.

Наиболее важное практическое значение имеет классификация запасов полезных ископаемых. По своему хозяйственному значению все полезные ископаемые делятся на балансовые (кондиционные) и забалансовые (некондиционные) ресурсы (запасы).

*Балансовые* – это те запасы, которые на данном этапе развития производства использовать экономически целесообразно и которые по условиям эксплуатации соответствуют промышленным требованиям.

*Забалансовые* – малые запасы низкого качества со сложными условиями эксплуатации.

Величины запасов полезных ископаемых обладают различной достоверностью их подсчета, зависящей от сложности геологического строения месторождений и детальности геологической разведки.

По степени достоверности определения запасов они разделяются на категории. В Беларуси так же, как и в России, используется классификация запасов полезных ископаемых с разделением их на категории: *A, B, C1, C2*.

К категории *A* принадлежат детально разведанные запасы полезных ископаемых с точно определенными границами тел полезных ископаемых, их формами и строением (достоверные запасы).

К категории *B* относятся предварительно разведанные запасы полезных ископаемых с примерно определенными контурами тел полезных ископаемых без точного отображения пространственного положения природных типов минерального сырья (вероятные запасы).

В категорию *C1* включают запасы разведанных месторождений сложного геологического строения, а также слабо разведанные запасы полезных ископаемых на новых площадях с учетом экстраполяции геологических данных детально разведанных участков месторождений.

К категории *C2* относятся перспективные запасы, выявленные за пределами разведанных частей месторождений на основании толкования их геологического строения, с учетом аналогии сходных и подробно разведанных тел полезных ископаемых.

Категории полезных ископаемых *C1* и *C2* относят к возможным запасам.

Природные ресурсы, которые реально могут быть вовлечены в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества при условии сохранения среды жизни человека, называются ***природно-ресурсным потенциалом***.

К основным природным ресурсам на современном уровне их использования могут быть отнесены атмосфера, вода и водные экосистемы, земельные и минеральные ресурсы, растительный и животный мир, а также человеческая популяция со своим информационным ресурсом. Они относятся к возобновляемым условно неисчерпаемым природным ресурсам.

### **7.3. Основные принципы экологической безопасности**

Хозяйственная деятельность человека за сравнительно короткий исторический срок дестабилизировала экологическую систему планеты, вызвав глобальный экологический кризис. В силу существующих в системе внутренних связей эта дестабилизация ударяет по самому человеку (эффект бумеранга). Наступил момент, когда на человека уже воздействует измененная им природа. Эта экологическая опасность тем реаль-

нее, чем выше численность и технико-экономический потенциал человечества. Для обеспечения экологической безопасности необходимо развивать новые формы взаимодействия общества и природы. Таким образом, экологическая безопасность представляет собой важную часть общей концепции безопасности человека и общества.

**Экологическая безопасность** – это такое состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от возможного вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. В связи с важностью этой проблемы в г. Санкт-Петербург Постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств (СНГ) от 29.12.1992 г. принят рекомендательный законодательный акт «О принципах экологической безопасности в государствах содружества». Этот документ служит для разработки согласованной законодательной деятельности в области экологической безопасности государств – участников СНГ.

К общим принципам формирования национальной политики в области экологической безопасности относятся:

- приоритет безопасности для жизни и здоровья личности и общества в целом, общечеловеческих ценностей перед любыми другими сферами деятельности;
- суверенитет государства над природными ресурсами;
- непричинение ущерба окружающей среде за пределами юрисдикции государства;
- взаимная консультация заинтересованных государств в ситуациях, развитие которых создает или может создавать угрозу экологической безопасности;
- согласование государственного механизма возмещения ущерба;
- неотвратимость ответственности за ущерб, причиненный трансграничным загрязнением (загрязнитель платит);
- солидарная ответственность за ущерб, причиненный трансграничным загрязнением (загрязнитель платит);
- солидарная ответственность за причиненный вред государствами-участниками;
- платность природопользования;
- согласование экологической политики государств;
- согласование законодательной политики государств в области обеспечения экологической безопасности;

- взаимопомощь государств при ликвидации последствий и предупреждении экологического бедствия;
- широкое участие в международной деятельности в области экологической безопасности;
- разрешительный порядок осуществления производственной и другой деятельности, способной создавать угрозу экологической безопасности населения или территории;
- обязательность государственной экологической и санитарно-эпидемиологической экспертизы всех проектов строительства, реконструкции и производства любой продукции;
- государственная поддержка мероприятий по оздоровлению среды обитания человека;
- организация системы государственного экологического мониторинга состояния окружающей природной среды;
- обеспечение полной, достоверной и своевременной информированности граждан, учреждений и организаций об угрозах экологической безопасности;
- гласность планов осуществления деятельности, способной угрожать экологической безопасности населения, общества или природной среды.

Перечисленные принципы нашли свое отражение при разработке законодательных и иных нормативных правовых актов (НПА) и технических нормативных правовых актов (ТНПА) в Беларуси. Например, согласно Закону Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» (26.11.1992 г., с изменениями и дополнениями), основными принципами охраны окружающей среды являются следующие:

- приоритет охраны жизни и здоровья человека;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов;
- рациональное и неистощительное использование природных ресурсов;
- платность природопользования;
- соблюдение требований природоохранного законодательства, неотвратимость ответственности за его нарушение;
- гласность в работе экологических организаций и тесная связь их с общественными объединениями и населением в решении природоохранных задач;
- международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и др.

В основу экологической безопасности заложены положения Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития (НСУР) Республики Беларусь на период



до 2020 г., Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, Концепции государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды, Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2020 г. и других документов.

Первым и наиболее общим принципом экологической безопасности является *глобальность*, т.е. исходный природно-ресурсный потенциал в ходе исторического развития непрерывно истощается, что требует от человечества более полного его использования.

Второй основополагающий принцип – *рациональность*, т.е. «экологично – экономично». Это значит, что чем расчетливее подход к природным ресурсам и среде обитания, тем меньше требуется энергетических и других затрат. Воспроизводство природно-ресурсного потенциала и затраты на его использование должны быть сопоставимы с экономическими результатами эксплуатации природы.

Третий принцип – *комплексность*, т.е. все компоненты природной среды (атмосферный воздух, вода, почва и др.) следует охранять и защищать не по отдельности, а в целом – как единую среду обитания человека. Только при таком экологическом подходе возможно сохранение недр, ландшафтов, генофонда животных и растений, физико-химических условий жизненной среды. Перечисленные принципы экологической безопасности реализуются в концепции ресурсных циклов.

#### **7.4. Ресурсный цикл как техногенный круговорот веществ**

Концепция ресурсных циклов разработана известным географом И.В. Комаром и основана на идее круговорота веществ в природе, когда в ходе естественных преобразований природные элементы переходят из одного состояния в другое, от одного компонента природы к другому по принципу замкнутого безотходного цикла. С возникновением человечества складывается общественное (хозяйственное) звено круговорота веществ, которое взаимодействует с природным круговоротом, оказывая на него свое влияние. Большие массы природных веществ изымаются из естественного круговорота, а возвращаются в виде отходов, которые после технической переработки не могут ассимилироваться в природе, постепенно все больше и больше загрязняя ее и нарушая природный оборот веществ.

Хозяйственное звено круговорота веществ получило название **ресурсного цикла**, под которым понимается совокупность превращений и пространственных перемещений веществ в процессе их освоения, добычи, переработки, потребления и конечного возвращения в природу после использования. Этот цикл имеет незамкнутый характер, т.е. большую массу отходов на всех этапах добычи и использования природного вещества. На всех этапах ресурсного цикла в окружающей среде рассеивается около 98% добываемого минерального сырья (рис. 7.1).

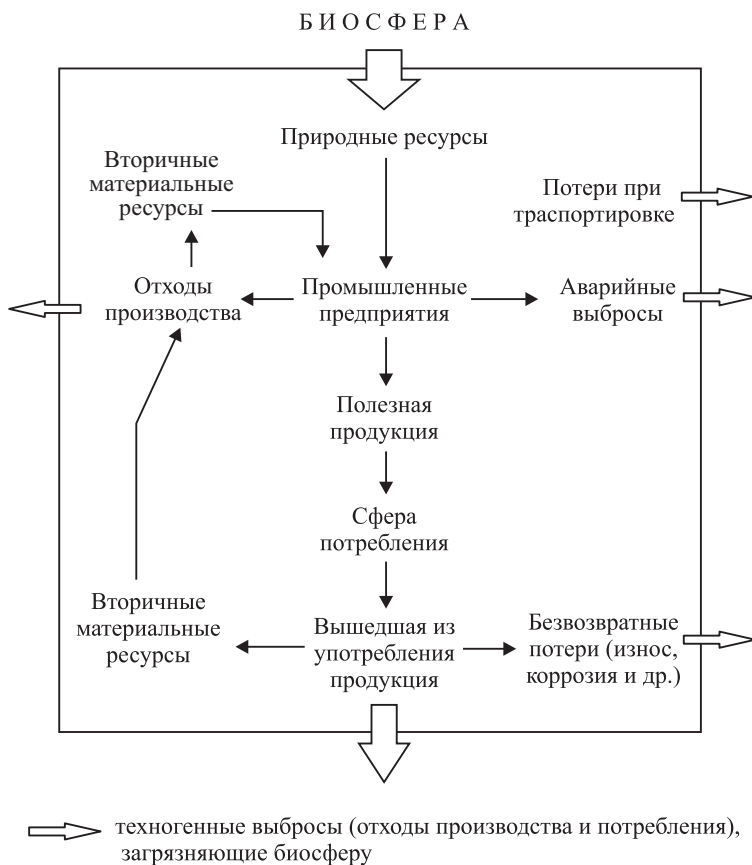


Рис. 7.1. Схема ресурсного цикла

Известно шесть ресурсных циклов использования возобновляемых природных ресурсов и использования полезных ископаемых (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Ресурсные циклы природопользования

Ресурсные циклы использования возобновляемых природных ресурсов	Ресурсные циклы использования полезных ископаемых
1. Цикл почвенно-климатических ресурсов и сельскохозяйственного сырья	1. Цикл энергоресурсов и энергии с гидроэнергетическим и энергохимическим подциклами
2. Цикл лесных ресурсов и лесоматериалов	2. Цикл металлорудных ресурсов и металлов с коксохимическим подциклом
3. Цикл ресурсов фауны и флоры	3. Цикл неметаллического ископаемого сырья с подциклами горнохимических и минеральных строительных материалов

Количество вещества, вовлекаемого в техногенный круговорот, уже соизмеримо с количеством вещества в естественных биохимических циклах.

Вещества по мере прохождения через ресурсный цикл, ранее сконцентрированные в том или ином месте локализации, рассеиваются. Причем рассеиваются не только исходные вещества, но и трансформированные или утраченные в процессе ресурсного цикла. Таким образом, главной объективной причиной загрязнения окружающей среды является незамкнутость ресурсного цикла.

Бурное развитие научно-технического прогресса сопровождается интенсивным использованием невозобновляемых ресурсов, к которым относится большинство полезных ископаемых. Уже к концу XX в. прирост разведанных запасов полезных ископаемых не покрывал их добычи.

Первоочередными задачами становятся охрана и рациональное использование природных ресурсов, широкое вовлечение в ресурсный цикл возобновляемых источников энергии. Совершенствование ресурсных циклов базируется на ряде общих принципов.

*Принцип системного подхода*, который предусматривает комплексную всестороннюю оценку воздействия производства на окружающую среду и ее ответных реакций.

*Принцип оптимизации природопользования* заключается в принятии наиболее целесообразных решений при использовании природных ресурсов и природных систем на основе одно-временного экологического и экономического подхода, прогноза развития различных отраслей и географических регионов.

*Принцип опережения* темпов роста коэффициента использования природных ресурсов над темпами заготовки и добычи сырья.

*Принцип гармонизации* отношений природы и производства используется при создании и эксплуатации природно-технических, геотехнических или эколого-экономических систем. Эти системы обеспечивают, с одной стороны, высокие производственные показатели, а с другой – поддержание в зоне своего влияния благоприятной экологической обстановки, максимально возможное сохранение и воспроизводство естественных ресурсов. Своевременное и точное обнаружение опасных ситуаций достигается мониторингом состояния окружающей среды, что позволяет прогнозировать их развитие.

*Принцип комплексного использования* природных ресурсов и концентрации производства заключается в том, что на базе имеющихся в данном экономическом районе сырьевых и энергетических ресурсов создаются территориально-производственные комплексы, которые позволяют более полно использовать указанные ресурсы и тем самым снизить вредную нагрузку на окружающую среду.

Для разработки научно обоснованной политики защиты окружающей среды от всего многообразия отходов производства и потребления назрела необходимость в создании механизма оценки их уровня воздействия на среду обитания человека.

Одним из методов оценки и измерения уровня воздействия производимой и потребляемой продукции является оценка ее жизненного цикла.

## **7.5. Оценка жизненного цикла продукции**

В настоящее время метод оценки жизненного цикла – один из ведущих инструментов экологического менеджмента в Европейском союзе, который основан на серии стандартов Международной организации по стандартизации (ISO) и предназначен для оценки эколого-экономических, социальных аспектов

и воздействий в системах производства продукции и утилизации отходов практически во всех отраслях хозяйственной деятельности.

**Жизненный цикл продукции (ЖЦП)** – это последовательные и взаимосвязанные стадии производственной системы, начиная от процесса добычи сырья или разработки природных ресурсов до конечной стадии – перевода ее в отходы потребления в результате утраты ею потребительских свойств из-за физического или морального износа, а также после определенного срока хранения (рис. 7.2).

**Оценка жизненного цикла (ОЖЦ)** – это учет и оценка входных и выходных потоков материалов, вещества, энергии производственной системы, ее воздействия на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла.

Главная особенность ОЖЦ состоит в том, что данный инструмент позволяет сконцентрировать внимание на экологических воздействиях, связанных с производством и потреблением продукции (услуг) предприятия. При этом данные воздействия (как реальные, так и потенциальные) исследуются на протяжении всего жизненного цикла продукции – от «колыбели до могилы», т.е. от изъятия сырья и его приобретения предприятием до производства продукции и далее ее использования

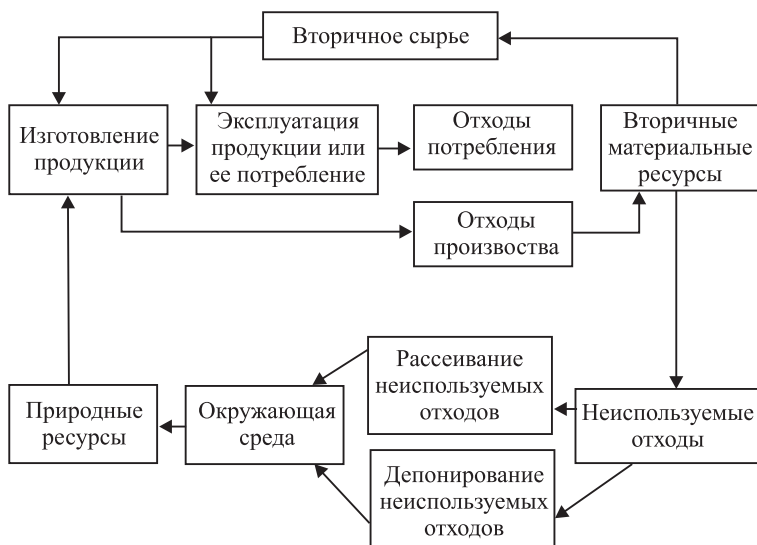


Рис. 7.2. Структурная схема жизненного цикла продукции

и утилизации. Основными параметрами, посредством которых оценивается воздействие на окружающую природную среду (ОПС), являются использование природных ресурсов, их влияние на здоровье населения, экологические последствия.

Общие принципы анализа и оценки жизненного цикла продукции (Life Cycle Assessment – LCA) не являются абсолютно новыми. Уже в 70-е гг. XX в. аналогичные подходы применялись в развитых странах, например, по отношению к топливу с целью поиска его потребителями наиболее экономного варианта расхода энергетических ресурсов.

Оценка жизненного цикла, будучи сконцентрирована на экологических воздействиях продукта (услуг), связанных со всеми этапами его изготовления, применения и утилизации, является важнейшим инструментом экологического менеджмента на стратегическом уровне и принятия решений в рамках стратегического маркетинга по разработке новой продукции (или ее существенном обновлении). В соответствии со стандартом ISO 14040 более конкретно сфера применения и назначение метода ОЖЦ заключаются в следующем:

- улучшение экологических аспектов продукции в различные моменты ее жизненного цикла;
- принятие решений в организациях (например, при стратегическом планировании, определении приоритетов, проектировании продукции или процесса);
- выбор соответствующих показателей экологической эффективности, включая методы измерений;
- маркетинг (например, при заявлении об экологическом иске, связанном с системой экологической маркировки или декларацией об экологической чистоте продукции).

Основными ступенями, в рамках которых анализируется экологический жизненный цикл продукта, являются следующие:

- процесс добычи полезных ископаемых;
- приобретение энергии и сырья;
- использование древесных ресурсов;
- использование воды и энергии;
- транспортировка и связанные с ней опасность для окружающей среды или неэффективность в использовании ресурсов;
- различные выбросы в окружающую природную среду в процессе производства продукта;
- производство опасных субстанций;
- опасности, которые могут возникнуть в процессе потребления конечного продукта;

- повторное использование, рециклирование и размещение отходов и т.д.

Оценка жизненного цикла продукции может быть использована для сравнения экологических воздействий различных продуктов. В этом случае необходимо установить основные стадии ОЖЦ:

- 1-я – определение отрезков ЖЦП, на которых осуществляется наибольшее воздействие на ОПС с последующей их оценкой;

- 2-я – оценка энергетических и материальных ресурсов, используемых для производства данного продукта, выбросов, сбросов, отходов и вредных воздействий, а также всех видов ущерба окружающей среде, которые были определены на стадии (1);

- 3-я – оценка общего воздействия на окружающую среду и механизма этого воздействия в областях, определенных на стадиях (1) и (2);

- 4-я – определение порядка и формулировка стратегии для улучшения каждой стадии экологического ЖЦП.

Анализ экологического ЖЦП может быть завершен составлением *экологического баланса продукта*. С этой целью необходимо составить таблицу, по вертикали которой выписываются отдельные отрезки ЖЦП, а по горизонтали, как правило, записываются и по мере надобности структурируются две основополагающие разновидности нагрузки на ОПС: «Изъятие ресурсов» и «Поступления вредных веществ и отходов в окружающую среду».

Данная матричная таблица позволяет видеть взаимосвязь двух информационных инструментов – экологических балансов (конкретно входных и выходных балансов при производстве продукта) и оценки экологического ЖЦП.

В рамках данного подхода могут быть также учтены такие показатели, как использование земельной площади, влияние на структуру ландшафта, а также оценка «старых» экологических долгов предприятия (в том числе и «старое» загрязнение почвы токсическими веществами или солями тяжелых металлов).

При составлении такого расширенного баланса должны быть исследованы следующие структурные вмешательства предприятия в ОПС:

- использование территории (вид и интенсивность использования);

- застройка (вид и форма застройки, воздействие на застраиваемые земли);

- земляные работы (при строительстве производственных и административных зданий, подсоединении к коммуникациям);
- основные средства;
- складские запасы;
- прочие долгосрочные негативные воздействия на ОПС (например, загрязнение почвы солями тяжелых металлов).

В Беларуси в рамках разработки систем управления окружающей средой (СУОС) предприятия устанавливаются этапы технологического цикла продукции, ОЖЦ и направления рециклинга или ликвидации отходов производства.

## 7.6. Экологизация производства и ее оценка

При оценке экологичности реального производства изучают степень его воздействия на окружающую среду и приближения к безотходному. Для этого можно воспользоваться следующими методами: балансовым, нормативным, экспертным, инструментальным и расчетным.

При проведении экологической оценки *балансовым методом* составляются и анализируются материальные и энергетические балансы предприятия в целом или отдельных подразделений, технологических процессов, участков, основного оборудования и т.д.

*Нормативный метод* основывается на использовании научно обоснованных нормативов затрат сырья, материалов, энергии, удельных норм образования отходов и т.д.

*Экспертный метод* учитывает результаты экологической сертификации, опыт и знания квалифицированных специалистов.

При *инструментальном методе* используются результаты непосредственных замеров качественных и количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ с помощью аттестованных приборов и по утвержденным методам анализа.

*Расчетный метод* предусматривает количественную оценку экологичности по теоретическим и эмпирическим зависимостям, полученным путем обобщения результатов инструментальных исследований значительного количества аналогичных объектов.

Наиболее полную и надежную информацию об источниках и объемах выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду можно получить из анализа материальных балансов.



Они составляются на основании технологических схем, блок-схем входящих и выходящих материальных потоков. По данным материального баланса определяются удельные показатели выбросов, сбросов, отходов. Удельные энергозатраты оцениваются по результатам энергетического баланса.

В конечном итоге степень экологичности производства заключается в оценке его безотходности.

Эффект воздействия промышленного производства на окружающую среду определяется величинами входных и выходных потоков на всех стадиях жизненного цикла продукции, так как используемые в процессе человеческой деятельности материалы и энергия не исчезают.

**Входные потоки** делятся на материальные и энергетические. *Материальные* потоки связаны с добычей сырья, производством, транспортировкой, использованием, повторным использованием и утилизацией продукции. *Энергетические* учитывают все используемые виды энергоресурсов (твердое, жидкое, газообразное топливо, электроэнергия, водяной пар, сжатый воздух, компримированные газы, биомасса и пр.).

**Выходные потоки** формируются из продукции, отходов, выбросов, сбросов и энергетических выделений. Например, в Японии основу построения безотходной технологии, а в широком смысле экономики «замкнутого цикла» составляет так называемая *политика трех R*, представляющая собой аббревиатуру от трех английских слов: *reduce* – сокращение количества отходов; *reuse* – повторное использование компонентов продукции; *recycling* – повторное использование остатков продукции в качестве сырья. В рамках этой политики на сегодняшний день работают предприятия, вырабатывающие 35 видов продукции, на долю которых приходится 60% промышленной продукции.

**Безотходное производство** – это замкнутая система, организованная по аналогии с природными экологическими системами. Его основу должен составлять сознательно организованный человеком круговорот сырья, продукции и отходов.

По определению Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН), **безотходная технология** – это такой способ производства продукции, при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле *сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы* таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функциони-

рования. В соответствии с этим определением безотходное производство является практически замкнутой системой, организованной по аналогии с природными экологическими системами. В таких системах отходы жизнедеятельности одних организмов используются другими организмами, и в целом осуществляется саморегулирующийся биогеохимический круговорот вещества и энергии.

Создание безотходных производств является длительным процессом, требующим решения ряда сложнейших взаимосвязанных технологических, экономических, организационных, психологических и других задач. Поэтому в настоящее время более реально следует рассматривать *малоотходное производство*, т.е. такой способ производства продукции, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами, а часть сырья и материалов по технологическим, организационным, экономическим или другим причинам переходит в неиспользуемые отходы и направляется на длительное хранение или захоронение.

В основу критериев, ограничивающих вредное воздействие малоотходного производства на окружающую среду, положены существующие санитарно-гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации, на базе которых устанавливаются научно-технические нормативы допустимых выбросов (НДВ) загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов (НДС) загрязняющих веществ в водоемы

При разработке безотходной или малоотходной технологии используются следующие принципы.

*Принцип системности*, в соответствии с которым каждый отдельный процесс или производство рассматривается как элемент динамичной системы – территориально-производственный комплекс (ТПК) в регионе и эколого-экономической системы в целом. Таким образом, принцип системности должен учитывать существующую взаимосвязь производственных, социальных и природных процессов.

*Принцип комплексного использования ресурсов* требует максимального использования всех компонентов сырья, сопутствующих элементов, максимально возможной замены первичных сырьевых и энергетических ресурсов вторичными.

*Комплексное использование природных ресурсов* – это удовлетворение потребностей общества в определенных видах природных ресурсов, основанное на экономически и экологи-

чески оправданном использовании всех их полезных свойств, на максимально полной переработке и всестороннем вовлечении их в хозяйственный оборот с учетом перспектив развития различных отраслей хозяйственной деятельности, природоохранных норм и требований, интересов настоящего и будущих поколений людей. Этот принцип составляет основу рачительного и экономного использования природных богатств, максимального ограничения возможных негативных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду. Сущность комплексного использования ресурсов заключается в последовательной переработке сырья сложного состава в различные ценные продукты с целью наиболее полного использования всех компонентов сырья.

Принцип комплексности предполагается реализовать при строительстве в Гомельской области горно-обогатительного комбината по добыче бурого угля, из которого будет производиться 600 тыс. т моторного топлива в год. В рамках этого проекта в комплексе планируется построить электростанцию и химический комбинат для производства катализаторов, метанола и синтез-газа, которые служат сырьем для получения удобрений, пластмасс, резинотехнических изделий и других видов химической продукции.

**Принцип цикличности материальных потоков** (замкнутые водо- и газооборотные циклы) должен привести к формированию в отдельных регионах и во всей техносфере сознательно организованного и регулируемого техногенного круговорота вещества и связанных с ним превращений энергии.

**Принцип ограничения воздействия** производства на окружающую природную и социальную среду (атмосферный воздух, воду, поверхность земли, рекреационные ресурсы и здоровье населения) в первую очередь связан с планомерным и целенаправленным ростом объемов производства и его экологического совершенства.

**Принцип рациональности организации производства** предполагает оптимизацию производства одновременно по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам. Основным путем достижения этой цели являются разработка новых и усовершенствование существующих технологических процессов и производств.

При организации мало- или безотходного производства необходимо определить, какая часть сырья и материалов может быть направлена на длительное хранение или захоронение.

Для этого в ряде отраслей промышленности используются количественные показатели оценки безотходности. Например, в цветной металлургии широко применяется *коэффициент комплексности*, определяемый долей полезных веществ, извлекаемых из перерабатываемого сырья по отношению ко всему его количеству (в процентах). На некоторых предприятиях он превышает 80%.

В первом приближении для практических целей значение коэффициента комплексности, равное 75% и выше, можно принять в качестве количественного критерия малоотходного, а 95% – безотходного производства. При этом должна учитываться токсичность отходов.

В химической промышленности используется *коэффициент безотходности* ( $K_6$ ). Этот коэффициент характеризует полноту использования минеральных и энергетических ресурсов, а также определяет интенсивность воздействия данного химического производства на окружающую среду. Если расчетные значения  $K_6 = 0,75-0,8$ , то производство относится к малоотходному, а при  $K_6 = 0,9-0,98$  – к безотходному.

**Степень замкнутости процесса** (производства) по отношению к окружающей среде определяется отношением массы произведенной продукции к израсходованной на ее получение массе материально-сырьевых ресурсов. К произведенной относятся основная продукция, побочная продукция, изготавливаемая на данном предприятии из отходов, а также масса отходов, реализуемых на другие предприятия, где они служат либо исходным сырьем для получения продукции, либо готовой продукцией (корм).

*Коэффициент полноты использования* материальных ресурсов рассчитывается на основе составленного для каждого варианта технологического процесса уравнения сквозного материального баланса, характеризующего количественное движение всех видов сырья, материалов и прочего, размеры образования и использования отходов, побочных продуктов, размеры потерь. Коэффициенты полноты использования материальных ресурсов должны рассчитываться при производстве каждого вида продукции, а также для технологических процессов, линий, схем производства однотипных продуктов, так как таким способом становится возможным проведение сравнительной оценки различных вариантов производства одних и тех же продуктов.

*Основные пути экологизации производства* должны быть направлены на одновременное повышение эффективности и снижение его природоемкости. К ним относятся:

- изменение отраслевой структуры производства с уменьшением относительного и абсолютного количества природоемких производств и исключение выпуска продукции, не соответствующей экологическим требованиям;
- кооперирование производств с целью максимального использования отходов в качестве вторичных ресурсов, создание производственных объединений с высокой замкнутостью материальных потоков сырья, продукции и отходов;
- использование новых, более совершенных ресурсосберегающих и малоотходных технологий;
- создание и выпуск новых видов продукции с длительным жизненным циклом, пригодных для возвращения в производственный цикл после физического и морального износа;
- совершенствование очистки производственных эмиссий от техногенных примесей, разработка и внедрение эффективных систем улавливания и утилизации отходов.

Каждое из этих направлений в отдельности способно решить лишь локальную задачу. Для снижения природоемкости производства в целом необходимо их объединение. При этом центральное место занимают проблемы технологического перевооружения, внедрения малоотходных производств и технологий, экономического и технического контроля процесса экологизации.

## **7.7. Энергосбережение и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов в промышленности**

*Энергосбережение* представляет собой организационную, научную, практическую, информационную деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленную на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в процессах их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Согласно мировому опыту, энергосбережение практически выгодно всем:

- населению оно приносит улучшение качества окружающей среды, рост реальных доходов, увеличение количества рабочих мест;

- государству – снижение капитальных и текущих затрат, расширение базы налогообложения, увеличение доходов;
- производителям – снижение себестоимости продукции, рост прибыли, загрузку производства. Это в свою очередь приводит к повышению конкурентоспособности продукции, росту заработной платы, созданию новых рабочих мест.

Экономика Беларуси имеет большой потенциал энергосбережения. Для его реализации на предприятиях необходимо проводить следующие технические мероприятия:

- внедрять новые энергосберегающие технологии при нагреве, термообработке, сушке изделий, современные эффективные строительные и теплоизоляционные материалы;
- применять парогазовые, газотурбинные установки, мини-ТЭЦ, ГЭС;
- модернизировать котельные с заменой теплоизоляции теплопроводов;
- заменять электроды на топливные для возможности использования отходов производства, сельского и лесного хозяйства;
- переводить электросушильные агрегаты, электронагревательные печи на топливоиспользующие установки;
- осуществлять дизелизацию автотранспорта, перевод его на сжиженный и сжатый природный газ;
- производить топливо из бурых углей и сланцев, метанола и технического рапсового масла.

Энергосбережение в промышленном производстве заключается в совершенствовании технологии и аппаратного оформления с целью максимального использования первичных и утилизации ВЭР.

Энергоаудиты показывают, что резервы экономии как за счет уже известных и отработанных технологий, так и за счет принципиально новых направлений достаточно велики. Например, такие энергоемкие предприятия, как РУП «БМЗ», КУП «Минскводоканал», завод «Полимир», ОАО «Нафтан» суммарно потребляют свыше 1,5 млн т у.т.\* в год, а предложенные к внедрению энергосберегающие мероприятия позволяют снизить потребление энергии на 186 тыс. т у.т.

Энергосбережение может быть достигнуто за счет совершенствования технологических процессов, выбора рациональных видов сырья и методов его подготовки, комплексного

---

\* Здесь: у.т. – условное топливо.

использования сырья, применения эффективных катализаторов, организации энерготехнологических систем и установок, применения энергосберегающего оборудования, установки приборов учета и контроля.

Перспективным направлением рационального использования энергоресурсов является организация энерготехнологических систем (агрегатов, установок, производств), в которых теплота химических реакций и физико-химических процессов используется полностью. Наиболее эффективно комбинирование крупнотоннажных установок и производств, в которых энерговыделяющие устройства сочетаются с энергопотребляющими. В этих системах низко- и высокопотенциальная теплота дымовых и технологических газов утилизируется с максимальной полнотой, в том числе с подачей выработанного пара другим потребителям. С этой целью все шире начинают использоваться газотурбинные установки, позволяющие утилизировать тепловую и кинетическую энергию технологических и дымовых газов с дополнительной выработкой электроэнергии. Такие установки успешно эксплуатируются на предприятиях строительных материалов, в химической промышленности, металлургии.

В настоящее время в промышленности наиболее широко используются тепловые ВЭР, которые чаще всего применяют для предварительного подогрева сырьевых материалов или воздуха, поступающих в производство с помощью различных теплообменников и рекуператоров теплоты. Для утилизации теплоты высокотемпературных потоков (например, дымовых газов) применяют регенераторы – камеры, заполненные насадкой из огнеупорного кирпича. При этом утилизация теплоты осуществляется за счет попеременного переключения потоков дымовых газов и дутьевого воздуха из одного регенератора в другой.

Теплота нагретых сред снимается в котлах-утилизаторах и экономайзерах, в которых производится водяной пар или нагреваются вода или воздух.

Энергию сжатых газов можно использовать для вращения турбин насосов, подающих жидкость в реактор или магистральную сеть.

В настоящее время все шире используются *тепловые насосы* – принципиально новые энергетические устройства для обогрева помещений. Принцип действия и устройство тепло-



вых насосов аналогичны холодильным машинам, но они предназначены для выработки теплоты. Теплонасосные станции отбирают теплоту низкопотенциальных источников и обогревают объекты, где требуется умеренная температура не выше 60–80 °С. Эти устройства не загрязняют окружающую среду и экономичны, так как используют незначительное количество электроэнергии. В Европе и Японии тепловые насосы широко используются в системах теплоснабжения, кондиционирования зданий и помещений.

Большой интерес представляют *тепловые трубы* – это устройства, передающие большие тепловые мощности при небольших перепадах температур. Они состоят из герметичной трубы, частично заполненной жидким теплоносителем, который, испаряясь у одного конца трубы, поглощает теплоту, а затем, конденсируясь у другого конца трубы, ее отдает. На этом принципе производятся теплообменники на тепловых трубах.

В настоящее время большой интерес проявляется к *топливным элементам*. Они представляют собой устройства, вырабатывающие электроэнергию химическим способом, как в аккумуляторных батареях. Однако в них используются другие рабочие вещества – кислород и водород, а продуктом химической реакции является вода. В топливных элементах осуществляется процесс, обратный электролизу воды – соединение водорода с кислородом с выработкой энергии. В данном процессе используются электролит с двумя электродами и катализатор. На катод поступает кислород, а на анод – водород. В результате химической реакции образуется электрическая энергия. В качестве электролитов применяют фосфорную кислоту (КПД до 80%), твердые оксиды (КПД до 60%) и др. В Европе и Японии проводят испытания топливных элементов на автомобилях мощностью до 100 кВт.

Большой резерв энергосбережения имеется при эксплуатации холодильных машин. По данным Международного института холода (Франция), на охлаждение, необходимое для хранения продуктов и кондиционирования воздуха, используется более 10 % мирового потребления энергии.

К энергосберегающим устройствам относятся *трансформаторы теплоты* – это установки для повышения температуры и переноса энергии (теплоты) от низкотемпературных источников к потребителям. К ним относятся криогенные установки, холодильные машины, кондиционеры, тепловые насо-



сы и другие аналогичные устройства. В промышленности кроме низкопотенциальных тепловых имеются и высокотемпературные ВЭР, которые эффективно можно использовать с помощью сорбционных трансформаторов теплоты. По принципу действия они могут быть адсорбционными и абсорбционными.

Большой резерв энергосбережения представляет рационально организованная вентиляция производственных, общественных и жилых зданий, так как наибольшие потери теплоты из зданий происходят через системы принудительной вентиляции. Здесь необходимо широко использовать рециркуляцию воздуха, очистку воздуха от примесей непосредственно в помещении без выброса его в атмосферу, утилизацию теплоты вентиляционных выбросов. Энергосбережение в системах производственной вентиляции может быть достигнуто за счет:

- замены старых вентиляторов на новые, более экономичные;
- внедрения рациональных способов регулирования производительности вентиляторов (применение многоскоростных электродвигателей дает экономию электроэнергии на 20–25%);
- блокировки вентиляторов тепловых завес с устройствами открывания и закрывания ворот;
- отключения вентиляционных установок во время технологических и организационных перерывов (экономия электроэнергии до 20%);
- внедрения автоматического управления вентиляционными установками и др.

Одним из возможных путей решения проблемы отопления больших производственных зданий может быть децентрализация системы теплоснабжения по теплоносителю, воде и пару за счет внедрения газового лучистого отопления (ГЛО) и газовых воздухонагревателей. В данном случае поток лучистой энергии инфракрасного спектра нагревает поверхность пола, стен или оборудования в рабочей зоне. При этом теплота не теряется на нагревание воздуха. Системы ГЛО уже более 50 лет успешно функционируют за рубежом. В Беларуси они внедрены с большим энергосберегающим эффектом на некоторых предприятиях.

В промышленности на освещение в среднем расходуется до 10 % потребляемой энергии. Установленная мощность осветительных установок на предприятиях колеблется от 1 до 20% мощности используемого силового оборудования. Экономия электроэнергии на освещение может быть получена за

счет оптимизации светотехнической части самих осветительных установок и осветительных сетей, оптимизации систем управления и регулирования освещения, а также его рациональной эксплуатации. Оптимизация светотехнической части осветительных установок и осветительных сетей включает в себя правильный выбор системы освещения и типов источников света, экономических схем размещения светильников, а также рациональный подбор видов светильников по их светораспределению и конструктивному исполнению. При замене источников света на более эффективные можно сэкономить до 71% электроэнергии.

В Беларуси предусмотрен поэтапный вывод из эксплуатации светильников с низкой энергетической характеристикой (ламп накаливания). Кроме замены источников света большое значение для энергосбережения имеют выбор способа размещения светильников, рациональное сочетание искусственного и естественного, общего и местного освещения, использование автоматических систем регулирования источников света, чистка ламп и светильников и т.п. Следует иметь в виду, что запыленные стекла окон поглощают до 30% светового потока. Регулярная очистка окон позволяет сократить продолжительность горения ламп при двухсменной работе предприятия на 15% в зимнее время и на 90% в летнее.

## 7.8. Рациональное потребление

Обычно проблемы экологии и ресурсосбережения связывают с деятельностью производственного сектора экономики, упуская из виду, что различные ресурсы потребляются и в быту. Объемы потребляемых населением материальных благ и ресурсов весьма значительны. Например, соотношение между потреблением и накоплением в национальном доходе составляет примерно  $3/4 : 1/4$ . Следует также отметить тенденцию опережающего роста объемов отходов потребления по сравнению с отходами промышленности.

Пути перехода к безотходному типу потребления имеют свои особенности. Одна из них заключается в том, что отрасли, обслуживающие население, наименее технологичны в отношении безотходности. Помимо того что материальные ценности в этих отраслях рассредоточены в соответствии со сложившейся системой расселения по территории всей страны, объемы образующихся отходов у конкретных потребителей

весьма незначительны, а сами отходы очень разнородны и многокомпонентны. Положение осложняется тем, что сфера потребления гораздо в меньшей степени, чем сфера производства, поддается экономическому регулированию.

Таким образом, достижение рационального использования ресурсов в сфере потребления – сложная проблема и ее решение может быть достигнуто с помощью мер, условно разделяемых на две основные группы. *Первая* объединяет меры, принимаемые в отраслях общественного обслуживания (экономическое регулирование), *вторая* – меры воспитательного характера, направленные на выработку у каждого гражданина сознательного отношения к потребляемым ресурсам (регулирование воспитанием). На практике эти меры носят комплексный характер, взаимно дополняя друг друга. Внедрение новых технических решений, с помощью которых достигается экономия ресурсов, должно сопровождаться их пропагандой и созданием условий для широкого использования. Например, одним из важнейших ресурсов для бытовых нужд является питьевая вода. Жилищно-коммунальное хозяйство наряду с промышленностью и сельским хозяйством является крупнейшим потребителем воды. Водопотребление в расчете на одного жителя, пользующегося водопроводом, составляет 200–240 л/сут, а пользующегося «ведром» – только 20–40 л. Чаще всего потери воды вызваны техническими неполадками, нарушениями эксплуатации водопроводов, неисправностями оборудования, утечками воды из труб, санитарно-технических устройств и т.п.

Для решения вопроса рационального водопользования необходимо наладить тщательный учет всей расходуемой воды и оперативно устранять технические неполадки в системах водообеспечения. О том, что возможности для этого есть, свидетельствуют значительные различия в уровне потребления воды между различными городами и областями страны, а также достигнутым уровнем потребления воды в ряде развитых государств.

Таким образом, для обеспечения рационального потребления воды необходим комплекс мер, объединяющий прогресс в области экономики, организации и техники, дополненный продуманной эффективной воспитательной работой. Все это в полной мере относится и к потреблению других видов ресурсов, в частности ТЭР. Например, потребление электроэнергии на бытовые нужды в последнее время ежегодно увеличи-

вается на 10%, в то время как опыт показывает, что такое увеличение не всегда оправдано.

Расход электроэнергии в среднестатистическом доме распределяется примерно следующим образом: освещение – 23%, холодильник (морозильная камера) – 22, телевизор – 12, электроплита – 11, электрочайник – 6, стиральная машина – 6, посудомоечная машина – 3, микроволновая печь – 4, барабанная сушилка для белья – 3, прочее – 10%.

Экономии электроэнергии в быту, как уже указывалось, можно достичь, применяя вместо ламп накаливания люминесцентные или галогенные лампы с более высоким КПД. Для создания энергоэкономичного освещения в последние годы широко применяются электронные пускорегулирующие устройства (ЭПРУ), которые позволяют повышать частоту питающего тока до 30–40 кГц. Например, при этой частоте тока для создания одинаковой светоотдачи лампы накаливания в 60 Вт требуется всего 9 Вт.

Перспективным направлением для экономии электрической энергии является использование полупроводникового освещения со светоизлучающими диодами. В настоящее время их применяют в дорожных знаках, сигнальных огнях, задних фонарях транспортных средств и пр.

Выбор наиболее экономичных электроприборов и выполнение правил их эксплуатации позволяют существенно сократить потребление энергии. Например, для экономии энергии при эксплуатации электроплит важны своевременная смена неисправных конфорок, учет соразмерности кастрюли объему приготовляемой пищи и величины конфорки на плите, плотного прилегания посуды к греющей поверхности, использование специальной посуды и пр. Для сокращения сроков варки крупы имеет смысл ее замачивать с вечера, залив горячей водой. Воду в кастрюлю следует наливать не холодную, прямо из-под крана (8–10 °С), а предварительно отстоянную при комнатной температуре. При варке пищи кастрюли должны быть плотно закрыты крышкой. В электрочайник нужно наливать ровно столько воды, сколько необходимо (нагревательный элемент должен быть покрыт водой). Использование скороварок экономит 30% энергии и 55% времени пребывания человека у плиты.

Одним из направлений экономии электрической энергии является массовый выпуск бытовой техники, обеспечивающей рациональное потребление электроэнергии. Например, замена

бытовых холодильников на более экономичные модели (с усовершенствованной теплоизоляцией, автоматическим оттаиванием) позволила снизить потребление электроэнергии.

При эксплуатации холодильной техники следует иметь в виду, что пустые холодильники (морозильные камеры) потребляют больше электрической энергии, чем полные. Температура в холодильной камере должна быть  $+3 - +5$  °С, а в морозильнике  $-18$  °С. Этой температуры достаточно для обеспечения сохранности продуктов. Дальнейшее понижение температуры всего на  $1$  °С приводит к увеличению расхода электроэнергии на  $5\%$ . Желательно размораживать морозильник  $2-3$  раза в год с очисткой пластинок теплообменника на задней стенке камеры.

При глажке одежды желательно применять утюги с регулированием температуры. Установлено, что оптимальная температура глажения для изделий из шерсти  $140-165$  °С, искусственного шелка  $- 85-115$ , натурального шелка  $- 115-140$ , хлопчатобумажной ткани  $- 165-190$ , льняной  $- 190-230$  °С. Использование этих данных позволяет повысить производительность труда на  $40-60\%$ , а расход электроэнергии снизить на  $20-25\%$ .

Для эффективной работы пылесосов большое значение имеет хорошая очистка пылесборника, что приводит к снижению аэродинамического сопротивления системы и соответственно уменьшению расхода электроэнергии. Для снижения затрат электроэнергии кондиционеры необходимо использовать при закрытых окнах, форточках, дверях.

При реконструкции жилых зданий с использованием эффективных материалов можно сократить потери теплоты в  $2-3$  раза. В то же время каждый жилец имеет много возможностей для утепления своей квартиры. К ним относятся:

- остекление лоджий и балконов. Стекла и притворы створок должны быть уплотнены. При этом потери теплоты через окна и стены, расположенные со стороны лоджии, будут снижены на  $15-18\%$ . Снижение потерь на  $7-9\%$  позволяет поднять температуру в помещении на  $1$  °С. Таким образом, эти действия приведут к повышению температуры в примыкающей к лоджии комнате на  $2$  °С;

- установка между рамами прозрачной полиэтиленовой пленки таким образом, чтобы расстояние от нее до стекол было одинаковым. Это будет равноценно окну с тройным остеклением и снизит тепловые потери на  $20\%$ ;

- тепловая защита наружной стены в том месте, где расположены радиаторы отопления. Для этого на стене за радиатором с зазором между ними ставят отражающую поверхность (алюминиевая фольга, зеркальная алюминизированная пленка, теплое зеркало, представляющее собой низкоэмиссионную теплоотражающую пленку или покрытие и др.);

- утепление стен с внутренней стороны можно выполнить авиконом – экологически чистым материалом на основе целлюлозы (1 кг материала на 3 м<sup>2</sup> стены), причем его можно наносить шпателем прямо на кирпичную кладку;

- утепление пола можно осуществить различными материалами, рынок которых в настоящее время достаточно обширен и определяется только финансовыми возможностями жильца. Однако следует иметь в виду, что утепление пола оправдано только для первого этажа дома.

Целесообразно закрывать окна на ночь шторами, гардинами или жалюзи. Нельзя допускать, чтобы окна (форточки) в холодный период года на протяжении длительного времени оставались открытыми. Необходимо проветривать помещение несколько раз в день не более чем на 10–15 мин.

Нужно всегда помнить о простых приемах повышения эффективности работы отопительных приборов:

- укрытие отопительного прибора декоративными плитами, шторами приведет к снижению теплоотдачи на 10–12%;

- окраска радиаторов цинковыми белилами повысит теплоотдачу на 2,5%;

- окраска их масляной краской снизит теплоотдачу плоских радиаторов на 8,5%, а чугунных – на 13%;

- загрязнение пластин конвектора отопительного прибора также снижает теплоотдачу.

Открытые двери подъездов многоэтажных домов приводят к потере 6–10% теплоты.

Для снижения потерь теплоты с вентиляционным воздухом зимой необходимо прикрывать вентиляционные отверстия картоном и бумагой. В ванной комнате его можно закрыть полностью, что позволит повысить влажность воздуха в квартире и сделать микроклимат более благоприятным. Известно, что влажный воздух дает ощущение теплоты, а сухой – холода. Такое мероприятие позволит сберечь до 20% теплоты.

Этот перечень рекомендаций по бытовому энергосбережению каждый человек может творчески дополнить самостоятельно.

В принятой ООН «Всемирной стратегии охраны природы» записано: «Мы не унаследовали Землю наших отцов. Мы взяли ее в долг у наших детей». Поэтому именно принцип не брать «взаимы у потомков» должен стать определяющим при принятии всех без исключения решений по вопросам использования природных ресурсов Земли.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что представляют собой природные ресурсы?
2. Какие существуют классификации природных ресурсов?
3. В чем заключается различие между ресурсами биосферы и ресурсами техносферы?
4. Что такое природопользование?
5. Назовите основные принципы экологической безопасности.
6. Как осуществляется комплексное использование сырья и его основные принципы?
7. В чем заключается концепция ресурсных циклов?
8. На каких принципах должны совершенствоваться ресурсные циклы?
9. Как осуществляется оценка жизненного цикла продукции?
10. Охарактеризуйте методы оценки экологичности производства.
11. Какие принципы используются при создании мало- и безотходных технологий производства?
12. Что представляет собой энергосбережение и рациональное использование ТЭР?
13. Назовите основные направления энергосбережения в промышленности, быту.
14. Что такое рациональное потребление?

## ГЛАВА 8

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

---

### 8.1. Нормирование качества окружающей природной среды

#### 8.1.1. Общие сведения

Под *качеством окружающей природной среды* понимают степень соответствия ее характеристик потребностям людей и технологическим требованиям. В основу всех природоохран-ных мероприятий положен *принцип нормирования качества окружающей среды*. Этот термин означает установление уполномо-ченными государственными органами нормативов (пока-зателей) предельно допустимых воздействий человека и его деятельности на окружающую природную среду.

Само понятие *нормативы качества окружающей среды* за-креплено в Законе Республики Беларусь «Об охране окружаю-щей среды» (далее – Закон). В соответствии со ст. 20 Закона нормативы качества окружающей среды устанавливаются на уровне, обеспечивающем экологическую безопасность, и при-меняются для оценки состояния окружающей среды и норми-рования допустимого воздействия на нее.

К нормативам качества окружающей среды относятся:

- нормативы ПДК химических и иных веществ;
- нормативы предельно допустимых физических воздей-ствий;
- нормативы ПДК микроорганизмов;
- иные нормативы качества окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды утверждаются и вводятся в действие Министерством здравоохранения по со-гласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (далее – Минприро-ды), иными государственными органами в соответствии с за-конодательством Республики Беларусь.

В целях сохранения особо охраняемых природных терри-торий, курортных и рекреационных зон, а также типичных и редких природных ландшафтов, имеющих особое природо-



охранное значение, для этих природных объектов могут устанавливаться более жесткие, чем действующие на остальных территориях, нормативы качества окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды выполняют ряд функций:

- устанавливают предельные величины вредных химических, физических, биологических воздействий на окружающую среду;
- служат для оценки состояния по химическим, физическим и биологическим характеристикам различных компонентов природной среды и природных сред (атмосферного воздуха, вод, почв);
- учитываются при проведении оценки воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности.

Соблюдение нормативов качества окружающей среды наряду с другими требованиями законодательства при проведении проектирования предприятий, иных объектов, влияющих на состояние окружающей среды, рассматривается в качестве критерия экологической обоснованности соответствующих решений.

Нормативы качества окружающей среды служат одним из юридических критериев для определения благоприятного состояния окружающей среды, что представляется весьма важным при решении вопросов, связанных с защитой права граждан на благоприятную окружающую среду.

В настоящее время массив нормативов качества окружающей среды весьма значителен: более 500 нормативов ПДК химических и иных веществ для атмосферного воздуха, более 1600 – для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, более 100 – для почв.

Существуют следующие основные экологические нормативы качества природной среды относительно здоровья человека:

- санитарно-гигиенические – ПДК загрязняющих веществ, допустимый уровень физического воздействия (шума, вибрации, ионизирующих излучений и т.д.);
- производственно-хозяйственные – допустимый выброс загрязняющих веществ, допустимый сброс загрязняющих веществ, допустимое изъятие компонентов природной среды, норматив образования отходов производства и потребления и др.;

- комплексные показатели – потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), индекс загрязнения воды (ИЗВ), допустимая антропогенная нагрузка на окружающую природную среду и др.

Нормирование качества окружающей среды осуществляется на основании соответствующих ТНПА, определяющих допустимые качественные и количественные показатели загрязнителей в окружающей среде.

### 8.1.2. Атмосферный воздух

*Качество атмосферного воздуха* – это совокупность его свойств, определяющих степень воздействия химических, физических и биологических факторов на окружающую среду.

Под *физическим воздействием* понимается воздействие на атмосферный воздух факторов физической природы (шум, инфразвук, ультразвук, неионизирующее и ионизирующее излучения, вибрация), оказывающее неблагоприятное влияние на организм человека и окружающую среду.

*Нормативы качества атмосферного воздуха* представляют собой величины ПДК химических веществ, их смеси, микроорганизмов в атмосферном воздухе, при соблюдении которых не оказывается ни прямое, ни косвенное вредное воздействие, включая отдаленные последствия, на окружающую среду, здоровье человека.

Для характеристики качества атмосферного воздуха используются следующие нормативы:

- ПДК и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха;

- экологически безопасных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе особо охраняемых природных территорий, отдельных природных комплексов и объектов особо охраняемых природных территорий.

В настоящее время используется несколько видов ПДК: максимальная из разовых (ПДК<sub>м.р.</sub>), среднесуточная (ПДК<sub>с.с.</sub>) и для воздуха рабочей зоны (ПДК<sub>в.р.з.</sub>).

Классификация ПДК представлена на рис. 8.1.

В случае отсутствия значений ПДК для населенных мест могут применяться ОБУВ. Они определяются расчетным путем по физико-химическим свойствам или по показателям

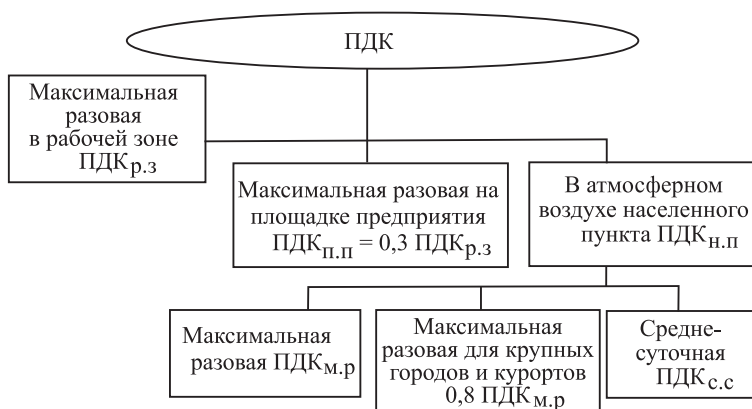


Рис. 8.1. Классификация предельно допустимых концентраций

острой опасности веществ. Значения ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утверждения или заменяться ПДК с учетом накопленных данных о соотношении здоровья работающих и условий труда.

*Предельно допустимая концентрация вещества в атмосфере* – это максимальная концентрация примеси, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает вредного действия на него, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

В справочниках приводятся значения концентраций максимальной из разовых и максимальной из среднесуточных.

*Разовая концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по пробе, отобранной за 20–30-минутный интервал времени.

*Среднесуточная концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая по среднесуточной пробе, которая представляет собой пробу воздуха, отбираемую в течение 24 ч непрерывно или с равными интервалами между отборами, но не менее 4 раз в сутки.

В некоторых случаях используют среднемесячные и среднегодовые концентрации примесей в атмосфере.

*Среднемесячная концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение из среднесуточных концентраций или из разовых концентраций, изме-

ряемых по полной программе контроля (не реже 4 раз в сутки) не менее 20 суток в месяц.

*Среднегодовая концентрация* – это концентрация примеси в атмосфере, определяемая как среднее значение из среднесуточных или разовых концентраций, измеряемых по полной программе контроля не менее 200 суток в год.

Биологическое загрязнение атмосферного воздуха микроорганизмами и микроорганизмами-продуцентами производств ферментов, аминокислот, кормовых, пивных и пекарских дрожжей нормируется количеством клеток на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

Для гигиенической оценки загрязнения воздуха можно применять комплексный ИЗА, учитывающий классы опасности, стандарты качества и средние уровни загрязнения воздуха. Расчет ИЗА по данным наблюдений проводится по формуле

$$\text{ИЗА}_m = \sum (q_{\text{ср.г.}i} / \text{ПДК}_{\text{с.с.}i}) / K_i$$

где  $q_{\text{ср.г.}i}$  – среднегодовая концентрация  $i$ -й примеси;  $\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$  – среднесуточная ПДК для  $i$ -ой примеси, мг/м<sup>3</sup>;  $K_i$  – 0,85; 1,0; 1,3 и 1,7 соответственно для веществ 4, 3, 2 и 1-го классов опасности.

Выбор веществ для расчета  $\text{ИЗА}_m$  производится с помощью предварительного сопоставления убывающего вариационного ряда величин  $\text{ИЗА}_i$ , рассчитанных для 5–6 приоритетных примесей.

*Уровень загрязнения атмосферы* считается *высоким*, если средние значения концентраций превышают средние по республике, или ИЗА превышает 9; *повышенным*, если концентрации примеси в отдельных случаях превышают  $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$  и  $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$ ; *низким*, если среднегодовые концентрации примеси находятся в пределах или ниже  $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ , а максимальные из разовых только в отдельных случаях превышают допустимые нормы.

Концентрации примесей в атмосферном воздухе определяются на стационарных, маршрутных или подфакельных постах с помощью различных воздухоотборных устройств и соответствующих методов и средств измерения. Исследования должны проводиться специализированными аккредитованными лабораториями.

### 8.1.3. Физические воздействия

Нормируемыми факторами физических воздействий на атмосферный воздух являются шум, вибрация и электромагнитное излучение.

Основные источники акустического и вибрационного воздействия на окружающую среду – транспорт, производственное оборудование, аудиоустановки и т.п.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания в интервале частот от 16 до 20 000 Гц. Колебания с частотой ниже 16 Гц (инфразвуки) и с частотой выше 20 000 Гц (ультразвуки) не воспринимаются органами слуха человека, но негативно воздействуют на биосферу.

По характеру спектра **шум** подразделяется на широкополосный и тональный, а по времени воздействия – постоянный и непостоянный. *Непостоянный* в свою очередь делится на колеблющийся, прерывистый и импульсный. *Постоянный* шум нормируется в децибелах уровнем звукового давления (УЗД, дБ) и уровнем звука (УЗ, дБА).

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются УЗ эквивалентный и максимальный. Превышение хотя бы одного из указанных показателей квалифицируется как несоответствие гигиеническим нормативам.

В отличие от звуковых колебаний инфразвук распространяется практически без ослабления на значительные расстояния. Уровни инфразвука 10 дБ фиксировались при удалении от источника на расстояние 200 м.

Нормируемыми параметрами постоянной и непостоянной вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях являются средние значения виброускорения и виброскорости или их логарифмические уровни.

Широкое использование **электромагнитной энергии** в разнообразных областях человеческой деятельности привело к тому, что к собственному электрическому и магнитному полям Земли, атмосферному электричеству, радиоизлучению Солнца и Галактики добавилось электромагнитное поле (ЭМП) искусственного происхождения.

Источники ЭМП, к которым относятся воздушные линии электропередачи, технические средства радиовещания, телевидения, радиорелейной и спутниковой связи, радиолокацион-

ные и навигационные системы, лазерные маяки, антенны сотовой мобильной связи и другие, существенно повлияли на естественный электромагнитный фон. На значительных территориях республики, особенно вблизи прохождения воздушных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения, радио и телевидения, радиолокационных установок, напряженность электрических и магнитных полей возросла от 2 до 5 порядков, создавая тем самым реальную угрозу населению, животному и растительному миру.

На общий уровень электромагнитного загрязнения в жилых помещениях влияет работа контактирующих с человеком электробытовых изделий (миксер, утюг, фен, электробритва, электродрель, мобильный телефон и т.п.) и неконтактирующих с ним (холодильник, электрочайник, тостер, стиральная машина, СВЧ-печь, радиоприемник, телевизор и т.д.). Уровни напряженности электрического поля у поверхности этих устройств составляют от 160 до 420 В/м, что не превышает гигиенического норматива (500 В/м).

Уровни магнитной индукции поля у этих же изделий достигают 0,12–11,6 мкТл (микроТесла), что превышает безопасный уровень (0,2 мкТл, Швеция) от 2 до 58 раз. Рекомендуемый безопасный для человека уровень достигается на расстоянии от 0,8 до 1,0 м от электрооборудования.

#### 8.1.4. Воды водоемов

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь для оценки *качества воды водных объектов*, возможности их использования в хозяйственной и иной деятельности, осуществления контроля и надзора в области использования и охраны вод устанавливаются *нормативы качества воды*, включающие в себя общефизические, биологические, химические показатели качества и ПДК веществ в воде водных объектов для различных целей водопользования.

Качество воды поверхностных водоемов нормируется по категориям в зависимости от их назначения:

- к первой категории относятся водные объекты или их участки, которые используются для хозяйственно-питьевого назначения или для водоснабжения предприятий пищевой промышленности;

- ко второй категории относятся водные объекты, используемые для культурно-бытового (коммунально-бытового) водопользования (спорт, купание, рекреация и пр.).

К *рыбохозяйственному водопользованию* относятся водоемы для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов. Они также подразделяются на категории (высшую, первую и вторую).

Нормы качества воды (установленные значения показателей состава и качества воды по видам ее использования) водных объектов включают общие требования к составу и свойствам воды для различных видов водопользования, а также величины ПДК нормированных веществ в воде.

Предельно допустимые концентрации *в воде* – максимальные концентрации, при которых вещества не оказывают прямого или опосредованного влияния на состояние здоровья населения (при воздействии на организм в течение всей жизни) и не ухудшают гигиенических условий водопользования.

При отсутствии значений ПДК временно устанавливаются *ориентировочно допустимые уровни* (ОДУ) нормированных веществ. Они определяются расчетами или экспериментальными методами прогноза токсичности и применяются только на стадии предупредительного санитарного надзора за проектируемыми и строящимися предприятиями, очистными сооружениями. Ввод предприятий, цехов, технологий в эксплуатацию возможен только при наличии ПДК веществ и методов их определения в воде.

Кроме того, *нормируемыми параметрами воды* водоемов являются:

- содержание плавающих примесей и взвешенных веществ;
- запах, привкус, окраска и температура воды;
- значение рН, состав и концентрация минеральных примесей и растворенного кислорода;
- биохимическая потребность в кислороде;
- возбудители заболеваний, концентрация и состав ядовитых и вредных веществ.

Вредные и ядовитые вещества нормируют по *принципу лимитирующего показателя вредности* (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества.

При нормировании качества воды в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида ЛПВ:

- санитарно-токсикологический;
- общесанитарный;
- органолептический.

Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными используют еще два вида ЛПВ:

- токсикологический;
- рыбохозяйственный.

В табл. 8.1 приведены ПДК некоторых веществ в водоемах.

*Таблица 8.1. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в водоемах*

Вещество	Водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Рыбохозяйственные водоемы	
	ЛПВ	ПДК	ЛПВ	ПДК
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5	Токсикологический	0,5
Фенолы	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	Органолептический	0,1	Рыбохозяйственный	0,05
Кадмий (II)	Санитарно-токсикологический	0,01	Токсикологический	0,005
Медь (II)	Органолептический	1	Токсикологический	0,01
Цианиды	Санитарно-токсикологический	0,1	Токсикологический	0,05

Вода как источник питья и среда обитания кроме ПДК дополнительно характеризуется следующими показателями:

- биологической потребностью в кислороде (БПК) – количеством кислорода, использованного в биохимических процессах окисления органических веществ (за исключением процессов нитрификации) за определенное время (2, 5, 8, 10, 20 сут) на 1 мг вещества (БПК<sub>2</sub>, БПК<sub>5</sub> и т.д.) (мг);
- полной биохимической потребностью в кислороде (БПК<sub>полн</sub>) до начала процессов нитрификации (до появления 0,01 мг/л нитратов) на 1 мг вещества (мг);



- химической потребностью в кислороде (ХПК) – количеством кислорода, эквивалентным количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде, на 1 мг вещества (мг).

Интегральная оценка качества воды проводится обычно по гидрохимическим показателям.

При наличии значений концентраций нескольких загрязняющих веществ можно оценить ИЗВ, который рассчитывается отношением суммы приведенных к ПДК фактических показателей качества для шести основных загрязнителей воды.

В качестве интегральной характеристики загрязненности поверхностных вод используют классы качества воды, которые установлены в зависимости от ИЗВ (табл. 8.2).

Таблица 8.2. Характеристики интегральной оценки качества воды

ИЗВ	Класс качества воды	Оценка качества вод
Менее и равно 0,2	I	Очень чистые
Более 0,2–1	II	Чистые
Более 1–2	III	Умеренно загрязненные
Более 2–4	IV	Загрязненные
Более 4–6	V	Грязные
Более 6–10	VI	Очень грязные
Более 10	VII	Чрезвычайно грязные

Использование подземных вод питьевого качества для целей, не связанных с удовлетворением питьевых, хозяйственно-бытовых и иных нужд населения, а также удовлетворением потребностей пищевой промышленности и животноводства, как правило, не допускается. В районах, где отсутствуют необходимые поверхностные водные источники и имеются достаточные запасы подземных вод питьевого качества, органы государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды могут разрешать использование этих вод для производственных нужд. Подземные воды (пресные, минеральные, термальные), не отнесенные к категории питьевых или лечебных вод, могут в установленном порядке использоваться для технического водоснабжения, извлечения содержащихся в них химических элементов, получения тепловой энергии и других производственных нужд с соблюдением требований рационального использования и охраны вод.

## 8.1.5. Почвы

**Качество почв** нормируется значениями ПДК или ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве.

Предельно допустимая концентрация экзогенного химического вещества *в почве* – максимальное количество вещества (мг/кг) абсолютно сухой почвы, которое не вызывает прямого или опосредованного отрицательного влияния на здоровье настоящего и последующих поколений человека и экосистему.

Ориентировочно-допустимая концентрация *в почве* – государственный временный гигиенический норматив максимального допустимого содержания экзогенного химического вещества, определяемый расчетным путем. ОДК должны пересматриваться через три года после их утверждения или заменяться ПДК, полученными на основе экспериментальных данных.

Обоснование ПДК химических веществ в почве проводится по пяти основным показателям вредности, устанавливаемым экспериментально:

- фитотоксическому, характеризующему степень воздействия на семена растений;
- транслокационному – переход вещества из почвы в растение;
- миграционному водному – переход вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- миграционному воздушному – переход вещества из почвы в атмосферный воздух;
- общесанитарному – влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность.

При этом определяется допустимый уровень содержания вещества по каждому показателю вредности, а в качестве ПДК (ОДК) принимается его наименьшее значение.

Химические вещества делятся на классы опасности в зависимости от степени возможного отрицательного воздействия на почву, растения, животных, а также возможности вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья населения.

Основными характеристиками загрязнения почв неразлагаемыми и трудномигрирующими веществами, особенно тяжелыми металлами (ТМ), способными накапливаться в почвен-

ном горизонте, являются показатели *геохимических антропогенных аномалий* (ГАА). Одним из показателей ГАА является коэффициент концентрации загрязнения почвы (ККЗ), вычисляемый отношением содержания загрязняющего вещества в почве к его ПДК (ОДК).

Фоновое или среднее содержание элементов в почве выражают в Кларках в честь американского геохимика Ф.У. Кларка, который впервые вычислил средний химический состав земной коры.

В зависимости от фактического или прогнозируемого содержания ТМ в почве оценивается степень ее загрязнения по шкале:

- незагрязненные – содержание ТМ не превышает региональные фоновые Кларки;
- слабозагрязненные – не больше 2 Кларков (ориентировочная ПДК для почв);
- среднезагрязненные – в пределах 2–5 Кларков;
- сильнозагрязненные – более 5 Кларков, или более 2 ПДК.

Чаще всего выше допустимого по санитарно-гигиеническим нормам почвы городов загрязнены свинцом (до 370 мг/кг), цинком (до 429–441 мг/кг), кадмием (до 1,3–3,5 мг/кг), медью (до 86–137,7 мг/кг).

При интегральной оценке степени загрязнения почв веществами органического происхождения (гербицидами, пестицидами и пр.) пользуются величинами ПДК этих веществ в почве и соответствующими классами опасности (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Степень загрязненности почв органическими веществами

Содержание вещества в почве, мг/кг	Класс опасности вещества		
	I	II	III
Более 5 ПДК	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 до 5 ПДК	Сильная	Средняя	Слабая
От 1 до 2 ПДК	Средняя	Слабая	Слабая

При наличии в почве нескольких загрязнителей допускается проводить оценку степени опасности по веществу с максимальным содержанием с учетом его класса опасности.

Состояние почв может также характеризоваться *генотоксичностью* (рост количества мутаций по сравнению с контрольным уровнем) и показателями биологического загрязне-

ния (число патогенных микроорганизмов, коли-титр, содержание яиц гельминтов). Для сельтебных территорий состояние почв можно считать удовлетворительным при числе патогенных микроорганизмов в 1 г почвы менее  $10^4$ ; коли-титре – более 1; генотоксичности почвы – не более 2.

## **8.2. Нормирование поступления загрязняющих веществ в окружающую среду**

### **8.2.1. Нормативы допустимых выбросов в атмосферу и категорирование объектов воздействия на атмосферный воздух**

Наиболее действенным инструментом в защите атмосферного воздуха от загрязнения вредными веществами является разработка и внедрение природопользователями следующих показателей:

- нормативов допустимой антропогенной нагрузки на атмосферный воздух;
- технологических нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- нормативов содержания загрязняющих веществ в отработавших газах мобильных источников выбросов;
- НДС загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- лимитов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

*Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на атмосферный воздух* – это величины выбросов загрязняющих веществ от объектов воздействия на атмосферный воздух, установленные для конкретной территории на определенный период с учетом необходимости постепенного улучшения качества окружающей среды, обеспечения устойчивого функционирования естественных экологических систем и сохранения биологического разнообразия.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на атмосферный воздух устанавливаются для областей, районов, городов, их территориальных зон, особо охраняемых природных территорий и территорий, подлежащих специальной охране в рамках территориальных программ в области охраны атмосферного воздуха с учетом качества атмосферного воздуха

территории, нормативов качества атмосферного воздуха, природных особенностей территории, прогноза выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, международных обязательств Республики Беларусь по ограничению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

**Технологический норматив выбросов** загрязняющих веществ в атмосферный воздух – это допустимая масса выбросов, устанавливаемая в расчете на единицу сырья, производственной мощности, выпускаемой продукции, производимой энергии, выполняемой работы, объема оказываемой услуги.

Технологические нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух бывают *отраслевые* и *индивидуальные*.

**Нормативами допустимых выбросов** загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются максимальные величины поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества атмосферного воздуха.

Нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух устанавливаются для стационарных источников выбросов. К ним относятся:

- предельная масса выброса загрязняющих веществ в единицу времени (т/год, г/с);
- предельное значение концентрации выброса загрязняющего вещества в атмосферный воздух ( $\text{мг/м}^3$ ) при нормальных условиях (температуре 273 К, давлении 101,3 кПа) без поправок на содержание кислорода и влажности, а для газообразных продуктов горения топлива – в пересчете на сухой газ и определенное содержание кислорода.

Если в воздухе городов или населенных пунктов концентрация загрязняющих веществ уже превышает ПДК, а значения НДВ по объективным причинам не могут быть достигнуты, вводится поэтапное снижение их выброса. В этом случае фактический выброс, превышающий НДВ, называется нормативом временно допустимых выбросов (ВДВ) или временно согласованным выбросом (ВСВ).

**Временно допустимый выброс** – временный норматив (масса вещества в единицу времени), устанавливаемый для стационарных источников выбросов, предприятий, регионов с учетом состояния атмосферного воздуха и социально-экономиче-

ских условий развития территорий для поэтапного достижения установленных НДС. На каждом этапе устанавливаются ВСВ на уровне аналогичных предприятий с передовой технологией.

Объекты воздействия на атмосферный воздух относятся к определенной категории на основании балльной оценки следующих показателей:

- количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;
- значения относительного показателя опасности объекта воздействия;
- вероятности наступления на объекте воздействия событий, имеющих неблагоприятные последствия для качества атмосферного воздуха, возникновения техногенной и экологической опасности;
- количества стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;
- количества мобильных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;
- размера зоны воздействия исходя из значений расчетных приземных концентраций, создаваемых стационарными источниками выбросов в жилой зоне.

В зависимости от количественной оценки установлены пять категорий опасности природопользователя (V – до 5 баллов; IV – от 6 до 10; III – от 11 до 16; II – от 17 до 21 и I – свыше 21 балла).

Кроме того, обязательным гигиеническим условием функционирования промышленных объектов является наличие и обустройство санитарно-защитной зоны.

**Санитарно-защитная зона (СЗЗ)** – это территория с особым режимом использования, размер которой обеспечивает достаточный уровень безопасности здоровья населения от вредного воздействия (химического, биологического, физического) объектов на ее границе и за ней.

Территория СЗЗ предназначена для обеспечения снижения уровня любого воздействия за ее пределами до установленных гигиенических нормативов; создания санитарного защитного барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и территорией жилой застройки; организации дополни-

тельных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышения комфортности микроклимата.

Санитарно-защитная зона или какая-либо ее часть не может рассматриваться как резервная территория предприятия и использоваться для расширения промышленной площадки.

### 8.2.2. Нормативы сбросов в водоемы

Сброс возвратных вод в водные объекты является одним из видов *специального водопользования* (водопользования с применением сооружений или технических устройств) и осуществляется на основании разрешения территориальных органов Минприроды.

Условия отведения возвратных вод в водоемы определяются с учетом степени смешения стоков с водой водного объекта в контрольном створе и фонового состава и свойств воды такого объекта в местах выпуска сточных вод. На основании расчетов для каждого выпуска возвратных вод устанавливаются НДС веществ в водные объекты.

**Норматив допустимого сброса** в поверхностные водоемы химических и иных веществ, содержащихся в сточных водах, представляет собой массу загрязняющего вещества в сточных водах, максимально допустимую к сбросу в водный объект в установленном режиме в единицу времени с целью обеспечения нормативов качества воды в контрольном створе водного объекта. НДС устанавливается с учетом ПДК веществ в местах водопользования, ассимилирующей способности водного объекта и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями.

*Ассимилирующая способность водного объекта* – это его способность принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

При сбросе использованных вод в городскую систему водоотведения с последующей их биологической очисткой требования к сточным водам для каждого предприятия устанавливаются территориальными предприятиями Минжилкоммунхоза Республики Беларусь.

В случае несоблюдения НДС отвод производственных сточных вод в систему водоотведения населенного пункта допускается только после предварительной их очистки.

### 8.2.3. Нормативы образования отходов

**Отходы** – это вещества или предметы, образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности и жизнедеятельности человека, но не имеющие определенного предназначения по месту их образования либо утратившие полностью или частично свои потребительские свойства. По происхождению они делятся на отходы производства и отходы потребления.

*Отходы производства* представляют собой отходы, образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности (производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг), побочные и сопутствующие продукты добычи и обогащения полезных ископаемых.

*Отходы потребления* – это отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека, не связанной с осуществлением экономической деятельности, отходы, образующиеся в гаражных кооперативах, садоводческих товариществах и иных потребительских кооперативах, а также уличный и дворовый смет, образующийся на территориях общего пользования населенных пунктов.

Отходы разделяются по видам в зависимости:

- от агрегатного состояния – на твердые и жидкие;
- степени опасности – на опасные и неопасные;
- возможности их использования – на вторичные материальные ресурсы и иные отходы производства и потребления.

*Опасные отходы* – отходы, содержащие в своем составе вещества, обладающие каким-либо опасным свойством или их совокупностью, в таком количестве и виде, что эти отходы сами по себе либо при вступлении в контакт с другими веществами могут представлять непосредственную или потенциальную опасность причинения вреда окружающей среде, здоровью граждан, имуществу вследствие их вредного воздействия.

Отходы производства характеризуются степенью опасности и классом опасности опасных отходов. Для определения степени опасности используются следующие показатели.



**Экотоксичность** – способность отходов в случае попадания в окружающую среду представлять немедленно или со временем угрозу для нее в результате биоаккумуляции и (или) оказывать токсическое воздействие на биотические системы.

**Токсичность** – способность отходов при попадании внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или кожу вызывать серьезные, затяжные или хронические заболевания, включая онкологические.

**Взрывоопасность** – способность отходов либо их смеси к химической реакции с выделением газов такой температуры и давления и с такой скоростью, что вызывают повреждение окружающих предметов.

**Пожароопасность** – способность отходов (кроме классифицированных как взрывчатые) самовозгораться, легко загораться либо вызывать или усиливать пожар при трении; самопроизвольно нагреваться при нормальных условиях или нагреваться при соприкосновении с воздухом, а затем способных самовоспламеняться.

**Токсичность продуктов горения** – способность отходов при горении выделять токсичные вещества, которые при попадании внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или кожу вызывать серьезные, затяжные или хронические заболевания, включая онкологические.

**Реакционная способность** – характеристика химической активности отходов.

**Инфекционность** – способность отходов, содержащих живые микроорганизмы или токсины, вызывать заболевания у животных и людей.

В зависимости от значений перечисленных показателей устанавливаются степень и класс опасности опасных отходов (табл. 8.4).

Все объекты хозяйственной деятельности обязаны проводить инвентаризацию отходов не реже 1 раза в год специально назначенной комиссией. На основании актов инвентаризации отходов, технологических регламентов, удельных норм расходов сырья и материалов, материального баланса и другой нормативно-технической и технологической документации разрабатываются нормативы образования отходов производства, которые согласовываются территориальными органами Минприроды сроком на 5 лет.

Таблица 8.4. Степень опасности отходов производства и класс опасности опасных отходов производства

Опасные свойства	Опасные отходы производства				Неопасные отходы производства
	Классы опасности опасных отходов производства				
	1-й	2-й	3-й	4-й	
Экоотоксичность	Чрезвычайно опасные	Высокоопасные	Умеренноопасные	Малоопасные	Неэкоотоксичные
Токсичность	Чрезвычайно опасные	Высокоопасные	Умеренноопасные	Малоопасные	Нетоксичные
Показатели пожароопасности и взрывоопасности; группы горючести			Горючие	Трудногорючие	Негорючие
Токсичность продуктов горения		Чрезвычайно опасные	Высокоопасные	Умеренноопасные	Малоопасные
Температура вспышки и воспламенения		Особоопасные легкоиспламеняющиеся жидкости	Легковоспламеняющиеся жидкости	Горючие жидкости	Жидкости, не имеющие температуры вспышки и воспламенения
Нижний концентрационный предел распространения пламени			Взрывоопасные		Невзрывоопасные
Реакционная способность			Высокая		Реакционная способность отсутствует
Инфекционность		Чрезвычайно инфицирующие	Потенциально инфицирующие		Неинфицированные

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие существуют нормативы качества природной среды?
2. Как нормируются химическое, акустическое, вибрационное, электромагнитное и другие виды загрязнения окружающей среды?
3. Какими показателями определяется качество воды водоемов?
4. Как нормируются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу?
5. Назовите категории хозяйственных объектов в зависимости от степени их воздействия на окружающую среду.
6. Какие показатели используют при нормировании сбросов в водоемы?
7. Назовите порядок нормирования образования отходов.

## ГЛАВА 9

# ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

---

Под *средозащитной технологией и техникой* понимается совокупность технологических методов и технических средств, предназначенных для защиты окружающей природной среды от промышленных загрязнений. Все методы и средства защиты среды можно разделить на две большие группы: активные и пассивные.

*Активные методы* направлены непосредственно на источник загрязнения, они позволяют свести к минимуму поступление в окружающую среду всех видов отходов.

*Пассивные методы и средства* не оказывают прямого воздействия на источник загрязнения, они носят защитный характер и служат для ослабления негативного влияния на биосферу образовавшихся отходов и вредных физических факторов. К ним относятся рациональное размещение и локализация источников загрязнения, использование дымовых и вентиляционных труб, санитарно-защитных и водоохранных зон, систем очистки газовых выбросов и сточных вод, установок для переработки, утилизации и обезвреживания отходов и т.п.

## 9.1. Защита атмосферного воздуха

### 9.1.1. Общие сведения

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды, качество которого составляет естественную основу устойчивого социально-экономического развития страны, поэтому правовые и организационные основы хозяйственной деятельности в области использования воздушного бассейна закреплены Законом Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» (далее – Закон).

*Охрана атмосферного воздуха* – это совокупность организационных, экономических, технических, правовых и иных мероприятий, направленных на предотвращение загрязнения атмосферного воздуха, осуществляемых государственными органами, юридическими и физическими лицами.

Таким образом, основные принципы защиты атмосферного воздуха определяются требованиями Закона и заключаются в следующем:

- государственный учет и контроль за поступлением загрязняющих веществ в атмосферу и воздействием на нее вредных физических факторов;
- нормирование качества атмосферного воздуха;
- соблюдение санитарно-гигиенических требований при проектировании и эксплуатации объектов хозяйственной деятельности;
- реализация технологических и организационно-технических методов снижения объемов выбросов и вредного воздействия производства на атмосферный воздух.

Наиболее радикальная мера защиты воздушного бассейна – *экологизация технологических процессов*, и в первую очередь создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий, исключающих поступление в атмосферу загрязняющих веществ.

Из-за исключительной актуальности охраны атмосферного воздуха от загрязнения продуктами сгорания автомобильного топлива первоочередной задачей человечества является создание экологически чистых видов транспорта, т.е. перевод существующего парка передвижных источников на такие виды топлива, которые не выделяют в окружающую среду загрязняющих веществ, – природный газ, водород, биотопливо, электрическая и солнечная энергия или иные.

Существующий уровень развития многих технологий, технического состояния машин и агрегатов не позволяет в полной мере обеспечить безопасность атмосферы, поэтому на предприятиях повсеместно применяют различные методы обработки отходящих газов.

Однако прежде чем выбрать оборудование для обработки промышленных выбросов, необходимо осуществить все возможные организационно-технические мероприятия для снижения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. К их числу можно отнести следующие: совершенствование технологических процессов и оборудования, комплексное использование перерабатываемого сырья и продуктов, многократное использование энергии в процессах производства; организацию непрерывных технологических процессов и т.д.

К снижению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду приводят такие мероприятия:

- повышение коэффициента полезного использования топлива и теплоты;
- более полное использование вторичных энергоресурсов;
- обогащение топлива (например, снижение содержания в нем серы, азота и механических примесей, добавление присадок, улучшающих условия горения и дающих экономию расхода топлива);
- использование экологически чистого топлива;
- организация процесса сжигания топлива в соответствии с научной теорией горения вещества и с минимальным образованием продуктов, загрязняющих атмосферу, и др.

Большой эффект по снижению расхода топлива и сокращению загрязнения природной среды может быть достигнут за счет внедрения энерготехнологических схем, сочетающих процесс производства с выработкой энергии.

Если окажется, что совершенствование технологических процессов и оборудования не может обеспечить необходимого качества отходящих газов, то в этом случае следует использовать установки обработки газов.

## **9.1.2. Обработка газозвудушных выбросов**

### **9.1.2.1. Общие положения**

В настоящее время в целом по промышленности улавливается около 90% пыли, образующейся на различных стадиях производства, и только 10% различных аэрозолей выбрасывается в атмосферный воздух. Такого нельзя сказать о газо- и паробразных загрязняющих веществах, содержащихся в газозвудушных выбросах (ГВВ) промышленного производства. Несмотря на то что эти примеси представляют собой большую опасность для окружающей среды, их улавливается или обезвреживается только около 10%, а более 90% вредных газов и паров поступает в воздушный бассейн.

Для успешного решения проблемы защиты атмосферного воздуха от вредных примесей важно правильно усвоить терминологию в этой области.

**Очистка** – удаление (выделение, улавливание) примесей из различных сред.

**Обезвреживание** – обработка примесей до безвредного для людей, животных, растений и в целом для окружающей среды состояния.

**Обеззараживание** – инактивация (дезактивация) микроорганизмов различных видов, находящихся в газовой воздушной среде выбросов, жидких и твердых средах.

**Дезодорация** – обработка одорантов (веществ, обладающих запахом), содержащихся в воздухе, воде или твердых средах, с целью устранения или снижения интенсивности запахов.

При организации любого производства, и в особенности мало- или безотходного, необходимой стадией является промышленная и санитарная очистка газовой воздушной среды выбросов.

**Промышленная очистка** – это очистка газа с целью последующей утилизации или возврата в производство отделенного от газа или превращенного в безвредное состояние продукта. Данный вид очистки является одной из необходимых стадий технологического процесса, при этом технологическое оборудование связано друг с другом материальными потоками с соответствующей обвязкой аппаратов.

**Санитарная очистка** – очистка газа от остаточного содержания в нем загрязняющего вещества, при этом обеспечивается соблюдение ПДК в воздухе населенных мест или производственных помещений.

Санитарная очистка ГВВ производится перед поступлением отходящих газов в атмосферный воздух, и именно на этой стадии необходимо предусматривать возможность отбора проб газов с целью контроля на содержание вредных примесей.

Выбор метода очистки отходящих газов зависит от конкретных условий производства и определяется рядом факторов:

- расходом и температурой отходящих газов;
- агрегатным состоянием и физико-химическими свойствами примесей;
- составом и концентрацией примесей;
- необходимостью рекуперации или возвращения уловленных веществ в технологический процесс;
- капитальными и эксплуатационными затратами;
- экологической обстановкой в регионе.

Для очистки газовой воздушной среды выбросов от загрязняющих веществ используются различные газоочистные установки.

**Газоочистная установка (ГОУ)** – это сооружение или устройство, предназначенное для улавливания, нейтрализации, подавления, обезвреживания (физическими, химически-

ми, биологическими и другими методами) из отходящих газов или вентиляционного воздуха содержащихся в них загрязняющих веществ, с целью предотвращения загрязнения атмосферного воздуха. ГОУ состоят из одного или нескольких аппаратов очистки газа, вспомогательного оборудования и коммуникаций.

В зависимости от агрегатного состояния улавливаемого или обезвреживаемого вещества ГОУ подразделяются на газоочистные и пылеулавливающие.

*Аппарат очистки газа* – элемент установки, в котором непосредственно осуществляется избирательный процесс улавливания или обезвреживания веществ, загрязняющих атмосферу. По принципу действия аппараты очистки газа подразделяются на семь групп:

- 1-я группа (С) – сухие механические пылеуловители (гравитационные, сухие инерционные и ротационные);
- 2-я группа (М) – мокрые пылеуловители (инерционные, конденсационные), скрубберы (механические, ударно-инерционные, полые, насадочные, центробежные), скрубберы Вентури и т.п.;
- 3-я группа (Ф) – промышленные фильтры (рукавные, волокнистые, карманные, зернистые) с регенерацией (импульсной обратной продувкой, ультразвуком, с механическим и вибровстряхиванием и т.п.);
- 4-я группа (Э) – электрические пылеуловители (сухие, мокрые, электрофильтры и др.);
- 5-я группа (Х) – аппараты сорбционной (химической) очистки газа от газообразных примесей (адсорберы, абсорберы и т.п.);
- 6-я группа (Т) – аппараты термической и термокаталитической очистки газов от газообразных примесей (печи сжигания, каталитические реакторы);
- 7-я группа (Д) – аппараты других методов очистки газа.

### **9.1.2.2. Пылеулавливание**

*Пылеулавливающее оборудование* в зависимости от способа отделения пыли от газовоздушного потока делится на *сухое* (частицы пыли осаждаются на сухую поверхность) и *мокрое* (отделение частиц пыли производится с использованием жидкостей).

Пылеулавливающее оборудование по принципу действия подразделяется на группы, а по конструктивным особенностям – на виды, которые представлены в табл. 9.1.



Таблица 9.1. Классификация пылеулавливающего оборудования

Группа оборудования	Вид оборудования	
	Сухой способ	Мокрый способ
Гравитационное	Полое Полочное	– –
Инерционное	Камерное Жалюзийное Циклонное Ротационное	Циклонное Ротационное Скрубберное Ударное
Фильтрационное	Тканевое Волокнистое Зернистое Сетчатое Губчатое	Сетчатое Пенное – – –
Электрическое	Однозонное Двухзонное	Однозонное Двухзонное

Выбор типа пылеуловителя обусловлен дисперсностью частиц, степенью запыленности газа и требованиями к степени его очистки. В частности, подобрать соответствующий тип оборудования для очистки выбросов от пыли в зависимости от дисперсного состава аэрозолей можно по табл. 9.2.

Таблица 9.2. Рекомендуемые аппараты для очистки ГВВ от пыли в зависимости от ее дисперсности

Размер частиц, мкм	Рекомендуемые аппараты
40–1000	Пылеосадительные камеры Циклоны диаметром 1–2 м Циклоны диаметром 1 м Скрубберы Тканевые фильтры Волокнистые фильтры Электрофильтры
20–1000	
5–1000	
20–100	
0,9–100,0	
0,05–100,00	
0,01–10,00	

Наиболее простыми являются *пылеосадительные камеры*, в которых отделение взвешенных частиц от газа осуществляется преимущественно под действием силы тяжести. Они очень просты по конструкции, пригодны главным образом для грубой предварительной очистки газов и при необходимости одновременно для охлаждения газа. Камера представляет собой пустотелый или с полками короб прямоугольного сечения с бункером внизу для сбора пыли.

В промышленности более широко применяются *инерционные пылеуловители*. В этих аппаратах за счет резкого изменения направления газового потока частицы пыли по инерции ударяются об отрагательную поверхность и выпадают на коническое днище пылеуловителя, откуда разгрузочным устройством непрерывно или периодически выводятся из аппарата. Наиболее простые из пылеуловителей этого типа – пылевые коллекторы. Они также задерживают только крупные фракции пыли, степень очистки ГВВ составляет 50–70%.

Широко распространенными устройствами для пылеулавливания являются *циклоны*, действие которых основано на использовании центробежной силы. К недостаткам циклонов всех конструкций относится сравнительно высокое аэродинамическое сопротивление (400–700 Па), значительный абразивный износ стенок аппаратов, вероятность вторичного уноса осевшей в пылесборнике пыли за счет перегрузки по газу и неплотностей. Кроме того, циклоны недостаточно эффективно улавливают полидисперсные пыли с диаметром частиц менее 10 мкм и низкой плотностью материала.

Для устранения недостатков вышеописанных циклонов разработаны *вихревые пылеуловители* (ВПУ), которые также относятся к прямоточным аппаратам центробежного действия. Сопловые и лопаточные ВПУ используются для высокоэффективной очистки (до 99%) вентиляционных выбросов от мелкодисперсной пыли с заметным содержанием частиц диаметром 3–5 мкм в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности.

В тех случаях, когда допустимо увлажнение очищаемого газа, применяют *гидропылеуловители*. В этих аппаратах запыленный поток соприкасается с жидкостью или орошаемыми ею поверхностями. Мокрые пылеуловители отличаются от сухих более высокой эффективностью при сравнительно небольшой стоимости. Они особенно эффективны для очистки газозвудушных выбросов, содержащих пожаро- и взрывоопасные, а также слипающиеся вещества.

Аппараты мокрой очистки можно использовать для очистки газов от мелкодисперсных пылей с размером частиц от 0,1 мкм, а также от газо- и парообразных вредных веществ. Конструкции аппаратов для мокрой очистки газозвудушных выбросов чрезвычайно разнообразны, как и производственные условия, в которых они эксплуатируются.

Мокрые пылеуловители подразделяются на пять групп:

- скрубберы;
- мокрые центробежные пылеуловители;
- турбулентные пылеуловители;
- пенные аппараты;
- вентиляторные пылеуловители.

Одним из наиболее совершенных способов выделения из воздуха взвешенных твердых частиц является его *фильтрация* через сухие цельные, сыпучие и комбинированные перегородки. Этот способ характеризуется высокой степенью очистки воздуха; возможностью улавливания частиц загрязнений при любом давлении воздуха; использованием химически стойких материалов; стабильностью процесса очистки; простотой эксплуатации. Возможности применения промышленных воздушных фильтров-пылеуловителей с перегородками значительно расширяются в связи с внедрением новых пористых перегородок из синтетических, стеклянных и металлических волокон, пористых пластических масс, пористой металлокерамики, шлаковаты и др.

В промышленных условиях применяют *тканевые*, или *рукавные*, фильтры. Они имеют форму барабана, матерчатых мешков или карманов, работающих параллельно. Частицы пыли, оседая на фильтрующий материал, создают слой с порами, меньшими, чем у фильтрующего материала, в связи с чем улавливающая способность слоя пыли возрастает, но вместе с этим увеличивается и его аэростатическое сопротивление. С течением времени слой пыли уплотняется, сопротивление его увеличивается, поэтому его приходится удалять встряхиванием фильтрующего материала, обратной продувкой струей воздуха или другими способами.

*Электрофильтры* применяются для очистки запыленных газов от наиболее мелких частиц пыли, туманов размером до 0,01 мкм. Промышленные электрофильтры делятся на две группы:

- одноступенчатые (однозонные), в которых одновременно происходит ионизация и очистка воздуха;
- двухступенчатые (двухзонные), в которых ионизация и очистка воздуха проводятся в разных частях аппарата.

По конструкции электрофильтры делятся:

- на пластинчатые и трубчатые;
- горизонтальные и вертикальные;
- двупольные и многопольные;
- одно- и многосекционные;
- сухие и мокрые.

### **9.1.2.3. Обработка выбросов от газообразных и парообразных примесей**

**Очистка выбросов.** Улавливание газообразных и парообразных примесей можно разделить на две основные группы: абсорбция жидкостями и адсорбция твердыми поглотителями.

**Абсорбция** – это процесс поглощения газов или паров из газовых или паровых смесей жидкими поглотителями – *абсорбентами*. Различают физическую и химическую абсорбцию. При *физической абсорбции* молекулы поглощаемого вещества (*абсорбтива*) не вступают с молекулами абсорбента в химическую реакцию. При этом над раствором существует определенное равновесное давление компонента. Процесс абсорбции проходит до тех пор, пока парциальное давление целевого компонента в газовой фазе выше равновесного давления над раствором. При *химической абсорбции* молекулы абсорбтива вступают в химическое взаимодействие с активными компонентами абсорбента, образуя новое химическое соединение. При этом равновесное давление компонента над раствором ничтожно мало по сравнению с физической абсорбцией и возможно полное его извлечение из газовой среды.

В качестве абсорберов могут использоваться любые массообменные аппараты, использующиеся в химической промышленности.

**Адсорбция** основана на избирательном извлечении вредных компонентов из газа с помощью адсорбентов – твердых веществ с развитой поверхностью. Адсорбенты должны обладать высокой поглотительной способностью, избирательностью, термической и механической стойкостью, низким сопротивлением потоку газа, легкой отдачей адсорбированного вещества. В качестве адсорбентов применяют активированный уголь, силикагель, синтетические и природные цеолиты. *Цеолиты* (молекулярные сита) – это синтетические алюмосиликатные кристаллические вещества, обладающие большой поглотительной способностью и высокой избирательностью даже при весьма низком содержании определенного вещества (*адсорбтива*) в газе.

С помощью адсорбентов газы очищаются в основном от  $\text{CO}_2$ , сернистых соединений, углеводородов, растворителей, *n*-ксилола, сероуглерода и др.

Адсорбцию осуществляют в основном в адсорберах периодического и непрерывного действия. Адсорбционные процес-

сы с аппаратами *периодического действия* особенно перспективны для *рекуперации* органических растворителей, многие из которых являются озоноразрушающими и поэтому представляют определенную опасность для окружающей среды. В связи с этим рекуперация таких веществ из вентиляционных промышленных выбросов может не только вернуть в производство ценные продукты, но и предотвратить загрязнение атмосферного воздуха.

**Обезвреживание газовоздушных выбросов.** Если концентрация примесей в ГВВ незначительна (десятки миллиграммов на кубометр), улавливание их экономически и технически нецелесообразно. В этих случаях необходимо использовать различные приемы обезвреживания.

Одним из современным способом обезвреживания ГВВ с низкими концентрациями органических соединений, диоксида азота, оксида углерода, неприятнопахнущих соединений является каталитический, при котором происходит глубокое их окисление до углекислого газа и воды.

*Каталитическое обезвреживание* основано на каталитических реакциях, в результате которых находящиеся в газе вредные примеси окисляются и превращаются в другие соединения, безвредные либо менее вредные или же легко удаляющиеся из среды. Степень их конверсии может достигать 99,9%.

Катализаторами служат платина, палладий, рутений, а также более дешевые, но менее эффективные никель, хром, железо и медь. В качестве восстановителей применяют метан, водород, оксид углерода, природный и нефтяной газы и др. Любой из этих газов не должен содержать примесей сернистых соединений, вызывающих отравление. В качестве носителей для катализаторов используют оксид алюминия, силикагель, керамику и другие материалы.

*Термический метод* обезвреживания получил более широкое распространение, так как некоторые вредные примеси трудно или невозможно полностью нейтрализовать другими методами из-за сложности их состава, низкой концентрации, а также из-за отсутствия эффективных средств улавливания. Он заключается в том, что все органические вещества полностью окисляются кислородом воздуха при высокой температуре до нетоксичных соединений. В результате выделяются минеральные продукты, вода, диоксид углерода, теплота, которые требуют дальнейшей их утилизации.

К преимуществам термического метода обезвреживания отходящих газов относятся: отсутствие шламового хозяйства, небольшие габариты установок, простота обслуживания, высокая эффективность, возможность обезвреживания горючих выбросов сложного состава.

Особенность установки *термокаталитического обезвреживания* в том, что затраты энергии необходимы только в момент пуска, т.е. когда требуется подогреть газовый поток до начальной температуры каталитического окисления (300–400 °С). Затем процесс протекает самопроизвольно за счет теплоты реакции окисления.

**Дезодорация и обеззараживание неприятнопахнущих выбросов (НПВ).** Этот процесс проводится для устранения запаха газовых потоков, содержащих примеси органических и неорганических веществ. Концентрация этих примесей в большинстве случаев ниже предельно допустимых значений, т.е. выбросы являются чистыми с точки зрения санитарных норм. Однако наличие запаха не позволяет выбрасывать такие отходящие газы в атмосферу без дополнительной обработки. Установки дезодорации, предназначенные для доочистки выбросов, снижают уровень загрязнения атмосферного воздуха одорантами.

Чаще всего для обеззараживания газоздушных потоков используют те же методы и устройства, что и для дезодорации, поэтому в дальнейшем эти процессы рассматриваются совместно.

Для дезодорации и обеззараживания НПВ в промышленности используют все вышеперечисленные методы термического и термокаталитического дожигания, абсорбции, адсорбции, химического и биохимического окисления, а также различные их сочетания. Содержание в газоздушных выбросах промышленных производств одорантов различной химической природы создает определенные трудности при выборе методов дезодорации.

Термические и термокаталитические методы дезодорации применяются в основном при дезодорации газов, содержащих низкокипящие органические вещества, так как содержание высокомолекулярных и высококипящих органических соединений может привести к закоксуыванию поверхности катализатора продуктами их окисления. Кроме того, при неполном окислении высокомолекулярных веществ могут образовываться новые одоранты, обладающие еще более неприятным запахом, чем исходные вещества.

*Абсорбционно-окислительные методы* дезодорации и обеззараживания основаны на поглощении газов водой или другими поглотителями. Они нашли самое широкое применение на предприятиях химической и микробиологической промышленности. Для этого может использоваться абсорбционное оборудование различных видов (рассмотрено ранее).

В некоторых случаях целесообразно использовать *адсорбционно-окислительную дезодорацию* ГВВ, которая проводится на твердых поглотителях с помощью озона. В качестве адсорбентов применяются активированный уголь, цеолиты, силикагели. Для повышения эффективности их пропитывают различными окислителями (перманганатами, гипохлоритами, перекисями и др.).

В последние годы начали успешно использовать для обеззараживания и дезодорации ГВВ и другие окислители, например смесь 10%-ного раствора сульфита натрия с 1%-ным раствором хлоргидрата гидроксиламина. Образующиеся после очистки сточные воды аэрируют воздухом и подают обратно в абсорбер.

### **9.1.3. Биотехнологические методы защиты атмосферного воздуха**

К *биотехнологическим методам* относят использование древесной, кустарниковой и травяной растительности для снижения уровня загрязнения воздушного бассейна, применение биоиндикаторов для оценки устойчивости экосистем, биологических средств защиты растений, удобрений, регуляторов роста и т.п.

Наиболее существенным методом оптимизации качества атмосферного воздуха является использование зеленых насаждений на промышленных и селитебных территориях.

Газопродуктивный и пыле-, газопоглотительный потенциал насаждений зависит от их возраста, видового состава, бонитета, полноты, состояния и других факторов. Например, расчетными методами установлено, что поглощение  $\text{CO}_2$  сосновыми и липовыми древостоями варьирует в пределах 5–15,8 т/га за год, а выделение кислорода – от 3 до 11,5 т/га за год. Помимо того в лесах подлесок и травянистый ярус может поглощать соответственно до 0,7 и 0,6 т/га диоксида углерода и выделять по 0,5 т/га кислорода в год. В зеленых зонах запыленность воздуха может снижаться до 40–50%. Многорядные линейные посадки деревьев и кустарников вдоль дорог могут уменьшать

уровень загрязнения воздуха в транспортных зонах от 4 до 70%, и их эффективность зависит от ширины, высоты и плотности посадок.

Зеленые насаждения играют важную роль в оптимизации окружающей среды в городах и населенных пунктах. Они занимают значительную часть селитебной территории городов и являются одним из важнейших факторов в создании и улучшении санитарно-гигиенических и микроклиматических условий жизни людей, оказывают значительное влияние на планировочную структуру города, на формирование архитектурного ландшафта населенного пункта.

Основными факторами, определяющими эффективность зеленых насаждений в городе и степень соответствия их своему функциональному назначению, являются:

- уровень озеленения городских поселений и обеспеченность их площадями зеленых насаждений согласно градостроительным нормам;
- правильность организации и формирования зеленых насаждений;
- качественное состояние зеленых насаждений.

Основой правильной организации системы озеленения города является четкая классификация насаждений.

По функциональному назначению все внутригородские зеленые насаждения подразделяются на три основные группы:

- *общего пользования* – предназначены для организации различных форм массового отдыха населения города;
- *ограниченного пользования* – предназначены для отдыха ограниченного контингента посетителей (дети, студенты, спортсмены, производственный персонал и др.);
- *специального назначения* – предназначены для выполнения санитарно-оздоровительных, охранных, научно-исследовательских, хозяйственных и других специальных функций.

Для создания комфортных условий проживания городского населения, снижения неблагоприятных факторов городской среды необходимо стремиться к достижению оптимальной озелененности территорий городов. Согласно градостроительным нормам, общая озелененность селитебных территорий городов республики должна быть не менее 35–45% в зависимости от величины города, а озелененность жилых районов – 50–60%. Учитывая, что средняя озелененность городских поселений республики в настоящее время составляет около



20–22% при общей площади озелененных территорий, равной 39,3 тыс. га, дефицит зеленых насаждений городских поселений составляет в настоящее время около 20 тыс. га.

В общей системе городских зеленых насаждений *насаждения общего пользования* (парки, сады, скверы, бульвары, благоустроенные лесопарки) являются ведущей и основной группой насаждений.

В табл. 9.3 представлены нормы озеленения территорий городской застройки насаждениями общего пользования.

Таблица 9.3. Нормы озеленения территорий городской застройки насаждениями общего пользования, м<sup>2</sup>/чел.

Озелененные территории общего пользования городов	Площадь озелененных территорий, м <sup>2</sup> /чел.			
	крупнейших, крупных и больших городов	средних городов	малых городов	сельских поселений
Общегородские	10	7	8	12
Жилых районов	6	6	–	–

Насаждения общего пользования в составе зеленых насаждений города являются ведущей группой. Они представляют собой наиболее крупные и общедоступные озелененные пространства, организованные методами ландшафтной архитектуры и образующие основу системы озеленения города и пригорода.

В состав насаждений общего пользования входят:

- *общегородские парки* – зеленые массивы, которые по размерам, размещению в плане города и природной характеристике обеспечивают наилучшие условия для отдыха населения и организации массовых культурно-просветительных и политических мероприятий, физкультуры и развлечений. Парки представляют собой земельные участки площадью от 15 до 150 га и более. По назначению они подразделяются на многофункциональные (культуры и отдыха) и специализированные (детские спортивные, прогулочные, исторические парки-памятники садово-паркового искусства, зеленые охранные зоны памятников архитектуры и мемориальных памятников);
- *сад* – зеленый массив, используемый для отдыха и отдельных видов развлечений и культурно-просветительной работы. Его площадь составляет обычно 3–10 га;

- *сквер* – озелененный участок, используемый для кратковременного отдыха и архитектурно-декоративных целей. Площадь сквера принимается от 0,5 до 2,5 га и более;

- *бульвар* – озелененная полоса вдоль улицы или набережной шириной 16–18 м. Она служит для пешеходного движения, кратковременного отдыха, а также для защиты от пыли и шума;

- *парки* планировочных (административных) и жилых районов предназначены для отдыха, прогулок, физкультуры, культурно-просветительной работы на территории жилого района. Их площадь рекомендуется принимать 10–20 га и более;

- *лесопарк* – лесной массив, имеющий благоустроенную дорожно-тропиночную сеть и простейшее оборудование (скамьи, навесы, мусоросборники и др.) и предназначен для отдыха населения.

**Насаждения ограниченного пользования** включают в себя насаждения на территориях жилой, административной, промышленной, спортивной застройки и др.

В **насаждения специального назначения** входят насаждения санитарно-защитных зон предприятий, ботанических и зоологических садов, питомников, кладбищ и т.п.

Подбор ассортимента древесно-кустарниковых растений для озеленения должен осуществляться с учетом функционального назначения озеленяемого объекта, биологических особенностей пород и видов растений и экологических требований растений.

При создании объектов озеленения важным является введение в ассортимент растений пород, улучшающих ионный состав атмосферного воздуха (сосна обыкновенная, дуб красный, туя западная, лиственница сибирская, ель обыкновенная, пихта одноцветная, дуб черешчатый, граб, липа мелколистная), а также пород, обладающих сильными фитонцидными свойствами (туя, сосна, ель, пихта, дуб, тополь бальзамический, черемуха обыкновенная, можжевельник и др.).

При озеленении магистральных улиц, площадей, бульваров и разделительных полос отдается предпочтение растениям, интенсивно поглощающим автотранспортные выбросы, дымо- и газоустойчивым, обладающим ярко выраженной пылеудерживающей способностью, устойчивым к засолению почв (ель колючая, туя западная, дуб черешчатый, красный, болотный и северный, каштан конский, клен и явор остролистный, липа войлочная, крупнолистная и мелколистная, тополь берлинский

и канадский, Петровский, черный, черемуха Маака, ясень зеленый и обыкновенный, барбарис, бирючина, дерен, жимолость, лох, кизильник, роза, смородина, таволга и др.).

Подбор ассортимента растений для озеленения площадей, бульваров и улиц производится с учетом разнообразия форм крон деревьев, окраски листьев и хвои, декоративности растений во время цветения, плодоношения и в безлиственном состоянии.

При подборе ассортимента растений для озеленения улиц различного назначения и магистралей также необходимо учитывать их ориентацию и этажность застройки. Теневые стороны следует озеленять теневыносливыми породами деревьев и кустарников. Если застройка имеет высоту более 5 этажей, то должны преобладать деревья первой величины, которые в зрелом возрасте достигают 20 м высоты и выше (дуб черешчатый и северный, липа крупнолистная и мелколистная, тополь канадский, Петровский и черный, ясень обыкновенный).

При подборе ассортимента древесно-кустарниковых растений важно учитывать способность растений проявлять *аллелопатическое воздействие* друг на друга, выражающееся во взаимном или одностороннем влиянии совместно произрастающих растений через изменение ими окружающей их среды путем выделения жидких и газообразных химических продуктов жизнедеятельности. Несовместимые виды нельзя выращивать вместе.

Особую роль в санитарно-защитной зоне играют растения газопоглотительного назначения (*фитофильтры*). Значение отдельных компонентов фитоценоза в связывании загрязнений зависит от периода вегетации и фотосинтетической активности, температуры, освещенности, влажности воздуха. Расчет поглотительной способности насаждений  $P$  производится по формуле

$$P = KU \frac{T_y}{T_B},$$

где  $K$  – коэффициент физиологически допустимого накопления загрязнителя;  $U$  – сухая фитомасса листьев и хвои, кг;  $T_y$  – время удаления загрязнителя из листьев и хвои;  $T_B$  – длительность вегетации, дней.

Площадь насаждений в санитарно-защитных зонах зависит от класса опасности промышленного предприятия. Ассортимент растений подбирают в соответствии с климатическими и

почвенными условиями, составом и количествами загрязнений, расстояниями от источников выбросов. Обычно вблизи промышленных предприятий по состоянию растительности выделяют несколько характерных зон. В радиусе 100–500 м погибают многие древесные (в первую очередь хвойные) породы. В этой зоне следует высаживать наиболее устойчивые виды травянистых растений и некоторых кустарников. В радиусе 500–1000 м возможно создание устойчивых газонов, защитных полос и других форм насаждений из устойчивых кустарников и древесных пород. В радиусе 1–2 км для озеленения используют среднеустойчивые и даже газочувствительные виды. Устойчивость фитофильтра в некоторых случаях можно повысить путем промывания лиственной массы водой (полив).

Известные схемы организации фитофильтров позволяют существенно улучшить состояние атмосферного воздуха на промышленных и селитебных территориях, что положительно сказывается на качестве среды обитания.

## 9.2. Защита водных объектов

### 9.2.1. Общие сведения

*Поверхностные* и *подземные* воды Беларуси глубоко затронуты хозяйственной деятельностью и нуждаются в охране и защите. Для решения этой задачи в Республике Беларусь принят Водный кодекс, который регулирует отношения, возникающие при владении, пользовании и распоряжении водами, и направлен на создание условий для рационального использования и охраны вод, восстановления водных объектов, сохранения и улучшения водных экологических систем.

Поверхностные воды должны охраняться от засорения, загрязнения и истощения. Для предупреждения засорения принимаются меры, исключающие попадание в водоемы и реки строительного мусора, твердых и иных коммунальных, сельскохозяйственных и промышленных отходов, других предметов и веществ, негативно влияющих на качество вод. Истощение поверхностных вод предотвращают путем строгого контроля за водопотреблением и водоотведением во всех сферах хозяйственной деятельности.

Действующие ТНПА запрещают отведение сточных вод, содержащих возбудителей инфекционных заболеваний бакте-

риальной, вирусной и паразитарной природы. Такие сточные воды могут сбрасываться в водные объекты только после предварительной очистки и обеззараживания.

*Важнейшими принципами защиты поверхностных вод являются:*

- развитее безотходных и безводных (маловодных) технологий, внедрение системы оборотного водоснабжения;
- очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей;
- очистка сточных вод (промышленных, коммунально-бытовых и др.). В населенных пунктах и городах сброс сточных вод осуществляется преимущественно в систему городской канализации с последующей очисткой на станциях аэрации и сбросом в естественные водоемы.

Наиболее действенным способом защиты поверхностных вод от загрязнения их сточными водами является разработка и внедрение безводной (маловодной) и безотходной технологии производства, начальным этапом которой является применение *оборотного водоснабжения*.

Известно, что кроме сточных вод значительную роль в загрязнении гидросферы играют удобрения и средства химической защиты растений (гербициды, пестициды и пр.), которые смываются поверхностным стоком сельскохозяйственных угодий. Для предотвращения попадания таких стоков в водоемы необходимо проводить комплекс мероприятий, включающий:

- соблюдение норм и сроков внесения удобрений и ядохимикатов;
- очаговую и ленточную обработку пестицидами вместо сплошной;
- внесение гранулированных видов удобрений вместе с поливкой водой;
- замену применения ядохимикатов биологическими способами защиты растений.

Все большее значение в охране поверхностных вод от загрязнения и засорения в настоящее время приобретают такие приемы, как *агролесомелиорация* и *гидротехнические мероприятия*. С их помощью можно предотвратить заиление и зарастание озер, прибрежных зон крупных рек, водохранилищ и малых рек, а также образование оползней, обрушение берегов, образование эрозии и т.д. Выполнение комплекса этих работ способствует уменьшению уровня загрязнения поверхностного стока и значительно улучшает качество гидросферы.

## 9.2.2. Зонирование территории водных объектов

Важную защитную функцию на любом водном объекте выполняют водоохранные зоны и прибрежные полосы, которые устанавливаются вокруг водных объектов.

**Водоохранная зона** – это территория, прилегающая к руслам водотоков или водоемов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной деятельности для предотвращения загрязнения, засорения, истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

**Прибрежная полоса** – часть водоохранной зоны, непосредственно примыкающая к водному объекту, на которой устанавливается более строгий режим хозяйственной деятельности по отношению к режиму хозяйственной деятельности, установленному на всей водоохранной зоне.

Размеры и границы (ширина) водоохранных зон и прибрежных полос, а также режим ведения в них хозяйственной деятельности определяются в проектах водоохранных зон и прибрежных полос с учетом существующих природных условий, характера антропогенной нагрузки и границ запретных полос лесов (табл. 9.4).

Таблица 9.4. Минимальная ширина водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов для населенных пунктов

Водный объект	Водоохранная зона, м	Прибрежная полоса, м
Ручей, родник	50	5
Малая река (водоток протяженностью до 200 км)	200	10
Средняя и большая река (водоток протяженностью 200–500 км и свыше 500 км)	300	50
Естественный и искусственный водоемы:		
пруд	200	20
водохранилище	300	30
озеро	300	30
канал	50	–
судоходный канал	100	–

В пределах границ водоохранных зон запрещаются следующие мероприятия:

- применение пестицидов, внесение минеральных удобрений авиационным методом;

- размещение животноводческих ферм и комплексов, накопителей сточных вод, полей орошения сточными водами, кладбищ, скотомогильников, а также других объектов, обуславливающих опасность микробного загрязнения и подземных вод;

- размещение складов для хранения пестицидов, минеральных удобрений, площадок для заправки аппаратуры пестицидами, размещение объектов хранения нефти и нефтепродуктов (за исключением складов нефтепродуктов в портах, судоремонтных заводах и предприятиях водных путей), а также других объектов, способных вызывать химическое загрязнение поверхностных и подземных вод;

- устройство объектов размещения отходов, за исключением санкционированных мест временного содержания отходов по согласованию с территориальными органами Минприроды;

- удаление объектов растительного мира без утвержденных проектов благоустройства и озеленения, за исключением санитарных рубок, а также разрешенных рубок, обеспечивающих безопасность движения водного и наземного транспорта, и иные действия, предусмотренные законодательством о растительном мире и законодательством о государственной границе;

- мойка транспортных средств вне установленных мест;

- строительство и реконструкция сооружений и коммуникаций для очистки сточных вод, зданий, автозаправочных станций и прочего без согласования с территориальными органами Минприроды.

В пределах границ прибрежных полос дополнительно к этим мероприятиям запрещаются следующие:

- применение всех видов удобрений;

- выпас скота и организация летних лагерей для него;

- строительство зданий и сооружений;

- проведение работ, нарушающих почвенный и травяной покров (распашка земель, добыча полезных ископаемых и др.), за исключением обработки земель для залужения, посева и посадки леса;

- удаление объектов растительного мира, за исключением их удаления при проведении работ по содержанию пограничных знаков, знаков береговой навигационной обстановки и обустройству водных путей, полос отвода автомобильных и железных дорог, иных транспортных и коммуникационных линий;

- размещение отходов, сооружений для очистки сточных вод (за исключением сооружений для очистки дождевых вод) и обработки осадка;

- размещение и строительство гидротехнических, гидроэнергетических сооружений, дюкеров (пересечений) инженерно-технических коммуникаций, сооружений и объектов рекреационного назначения и благоустройства, проведение работ, связанных с укреплением берегов и коренным улучшением земель без согласования с территориальными органами Минприроды и др.

Прибрежные полосы, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью или залужены.

Законодательством Республики Беларусь в пределах границ водоохранных зон и прибрежных полос могут быть установлены и другие ограничения хозяйственной деятельности.

Подземные воды, так же как и поверхностные, в настоящее время нуждаются в специальной охране и защите. Следует помнить, что подземные горизонты являются основным резервуаром чистой питьевой воды и источником питьевого водоснабжения для населенных пунктов.

*Для борьбы с истощением запасов пресных подземных вод, пригодных для целей питьевого водоснабжения, необходимо выполнять следующий комплекс мероприятий:*

- регулирование режима водооборота подземных вод;
- более рациональное размещение водозаборов по площадям;
- определение величины эксплуатационных запасов с целью рационального их расходования;
- отказ от размещения самоизливающихся артезианских скважин, перевод их на крановый режим;
- запрет или значительное ограничение использования подземных пресных вод на технологические нужды.

В последние годы истощение подземных вод сдерживают пополнением их поверхностным стоком, но это может быть весьма опасным, так как обычно поверхностный сток в значительной мере загрязнен гидроплютантами.

Предотвращают загрязнение подземных вод различными путями:

- совершенствуют методы очистки сточных вод;
- внедряют маловодные производства и производственные процессы;
- тщательно экранируют бассейны со сточными водами, полигоны, накопители отходов, все сооружения с токсичными или опасными веществами, расположенные на поверхности, и т.д.



Важнейшей мерой борьбы с загрязнением подземных вод в районах водозаборов является устройство вокруг них зон санитарной охраны (ЗСО).

**Зона санитарной охраны** источника водоснабжения – это специально выделенная территория, охватывающая используемый водоем и частично бассейн его питания. На этой территории устанавливается режим, обеспечивающий надежную защиту источника водоснабжения от загрязнения и сохранение требуемых санитарных качеств воды. ЗСО организуются в составе трех поясов:

- первый пояс (строгого режима) включает территорию непосредственного расположения водозаборов, площадок расположения водопроводных сооружений и водопроводящего канала. Его назначение – защита водозабора и водозаборных сооружений от случайного или умышленного загрязнения и повреждения;

- второй и третий пояса (пояса ограничений) включают территорию, предназначенную для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения.

В каждом из поясов устанавливается специальный режим и определяется комплекс мероприятий, направленных на предупреждение ухудшения качества воды.

Общими требованиями по организации ЗСО являются следующие:

- мероприятия предусматриваются для каждого пояса ЗСО в соответствии с его назначением. Они могут быть единовременными, проводимыми до начала эксплуатации водозабора, либо постоянными режимного характера;

- основная цель разрабатываемых мероприятий – сохранение постоянного природного состава воды путем устранения и предупреждения возможности ее загрязнения.

Границы ЗСО и разработка комплекса необходимых организационных, технических, гигиенических и противоэпидемических мероприятий определяются в зависимости от вида источников водоснабжения (подземных или поверхностных), проектируемых или используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, от степени их естественной защищенности и возможного микробного или химического загрязнения.

### 9.2.3. Обработка и очистка сточных вод

Под **обработкой сточных вод** понимают воздействие на них с целью обеспечения необходимого состава и свойств. Для этого используют различные способы – очистку, обеззараживание, обезвреживание, дезодорацию, аэрацию, стабилизацию, усреднение, хлорирование, озонирование, УФ-обработку и др. Часто на практике эти способы объединяют под одним словом – очистка.

**Очистка сточных вод** – это обработка воды с целью разрушения или удаления из них определенных веществ.

Обработку и очистку сточных вод производят механическими, физико-химическими, химическими, биологическими, термическими и другими методами (рис. 9.1). Выбор метода

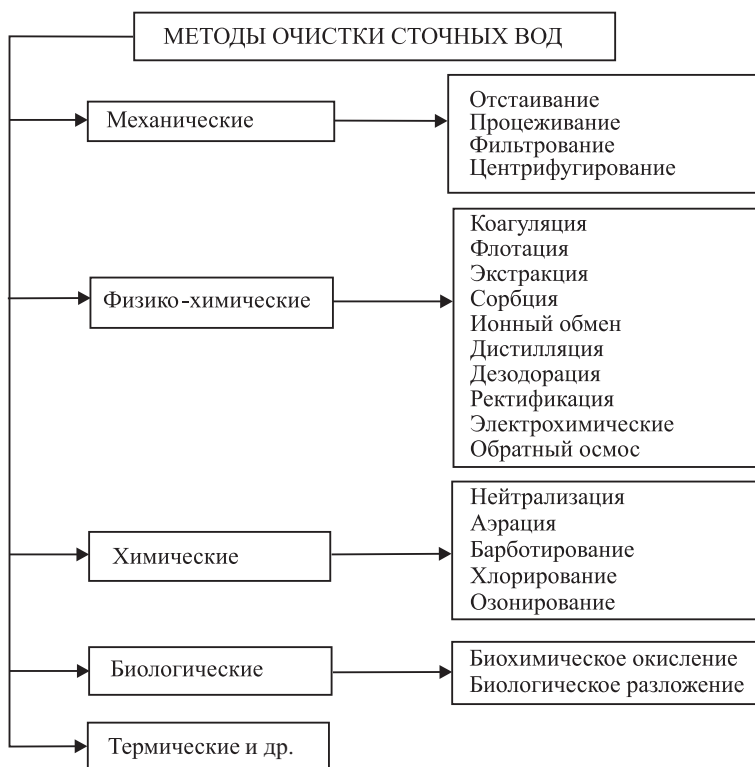


Рис. 9.1. Классификация методов очистки сточных вод

зависит от размера частиц примесей, их физико-химических свойств, концентрации веществ, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

Схема обработки сточных вод зависит от многих факторов. Она должна предусматривать максимальное использование очищенных сточных вод в системах повторного и оборотного водоснабжения предприятий и минимальный сброс сточных вод в естественные водоемы.

Для очистки сточных вод применяют несколько типов сооружений:

- *локальные очистные* – предназначены для очистки сточных вод непосредственно после технологических процессов. На таких сооружениях очищают воды перед направлением их в систему оборотного водоснабжения или в общегородские очистные сооружения; обычно применяют физико-химические методы очистки (отстаивание, ректификацию, экстракцию, адсорбцию, ионный обмен, огневой метод);

- *общие очистные* включают несколько ступеней очистки: первичную (механическую), вторичную (биологическую), третичную (доочистку);

- *районные* или *общегородские* очищают в основном хозяйственно-бытовые сточные воды методами механической и биологической очистки.

**Механические методы** применяют для удаления из производственных сточных вод нерастворимых примесей. Основными процессами такой очистки являются:

- процеживание сточной жидкости через решетки и сетки для выделения крупных примесей и посторонних предметов;

- улавливание в песколовках тяжелых примесей, проходящих через решетки и сетки;

- отстаивание воды для удаления нерастворяющихся тонущих и плавающих органических и неорганических примесей, не задерживаемых решетками и песколовками;

- удаление твердых взвешенных частиц в гидроциклонах;

- фильтрование через различные фильтры для улавливания тонкодисперсных взвесей.

К **физико-химическим методам** очистки сточных вод относят флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос и ультрафильтрацию, кристаллизацию, десорбцию, дезодорацию и др. Эти ме-

тоды используют для удаления из сточных вод мелкодисперсных взвешенных частиц, растворенных газов, минеральных и органических веществ.

Выбор того или иного метода очистки проводят с учетом санитарных и технологических требований, предъявляемых к очищенному производственным сточным водам с целью дальнейшего их использования, а также с учетом объема сточных вод и концентрации в них загрязнений, необходимых материальных и энергетических ресурсов, экономичности процесса.

*Флотацию* применяют для удаления из сточных вод нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. В некоторых случаях флотацию используют и для удаления растворенных, например поверхностно активных, веществ (ПАВ). При флотации в очищаемую жидкость подают воздух, мелкие пузырьки которого всплывают на поверхность воды, увлекая за собой частички загрязнителя, и образуют пенообразный слой, насыщенный флотируемым веществом. Флотация в десятки раз повышает скорость всплывания частиц, поэтому ее применение весьма эффективно.

*Адсорбцию* широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика и они биологически не разлагаются или являются высокотоксичными. Адсорбцию используют для очистки сточных вод от гербицидов, пестицидов, фенолов, ароматических и нитросоединений, ПАВ, красителей и др.

*Ионообменная очистка* применяется для извлечения из сточных вод металлов, а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений, радиоактивных и многих других веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки.

Процесс основан на взаимодействии водного раствора с ионитами, способными обмениваться своими подвижными ионами с раствором.

*Жидкостная экстракция* применяется для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты, ионы металлов и др. Экстракция экономически выгодна лишь тогда, когда стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на проведение процесса. В большинстве случаев экстракция оправдана при концентрации примесей 3,0–4,0 г/л.

Сущность экстракции заключается в том, что сточную воду смешивают с *экстрагентом*, т.е. с такой жидкостью, в которой загрязняющее стоки вещество растворяется лучше, чем в воде, а сам экстрагент не смешивается с водой. При проведении процесса экстракции образуются две фазы. Одна фаза – *экстракт* (содержит извлекаемое вещество и экстрагент); другая – *рафинат* (сточную воду и экстрагент). Затем экстракт и рафинат отделяют друг от друга, и осуществляется регенерация экстрагента из экстракта и рафината. Регенерированный экстрагент снова направляется в процесс экстракции.

*Обратный осмос* и *ультрафильтрация* заключаются в фильтровании очищаемых сточных вод через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое. Мембраны частично или полностью задерживают молекулы или ионы растворенного вещества. При обратном осмосе отделяются молекулы или гидратированные ионы, размеры которых не превышают размеры молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше, но максимальные их размеры не превышают 0,5 мкм. Давление, необходимое для проведения процесса обратного осмоса (6–10 МПа), значительно больше, чем для процесса ультрафильтрации (0,1–0,5 МПа). Обратный осмос широко используется для обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭЦ, а также других отраслей промышленности, для очистки некоторых промышленных и городских сточных вод.

*Десорбция летучих примесей* состоит в том, что сточные воды, загрязненные летучими примесями (сероводород, диоксид серы, сероуглерод, аммиак, диоксид углерода и др.), очищаются при пропускании воздуха или другого инертного малорастворимого в воде газа через сточную воду. При этом летучий компонент диффундирует в газовую фазу.

*Дезодорация* применяется для удаления из сточных вод неприятно пахнущих веществ (одорантов) – меркаптанов, аминов, аммиака, сероводорода и др.

Для дезодорации сточных вод используются различные способы: аэрация, хлорирование, ректификация, дистилляция, обработка дымовыми газами, окисление кислородом под давлением, озонирование, экстракция, адсорбция и микробиологическое окисление. При выборе метода необходимо учитывать его эффективность и экономическую целесообразность.

В настоящее время для дезодорации сточных вод широко используются процессы *озонирования* и *адсорбции*. Более эффективна дезодорация при одновременном использовании

озонирования, хлорирования и фильтрации воды через слой активированного угля. Дезодорация осуществляется в массо-обменных аппаратах различной конструкции. Эффективность дезодорации при правильной организации процесса может достигать 90–100 %.

**Химические методы** обработки сточных вод основаны на проведении химических реакций с использованием реагентов и последующим получением из загрязняющих примесей безвредных или менее вредных новых веществ.

При выборе метода учитывается эффективность процесса очистки, скорость реакции, стоимость реагентов, удобство последующего выделения образовавшихся после реакции веществ и др. Методы химической обработки обычно сочетаются с механической или физико-химической очисткой, так как после окончания реакции необходимо выделять образовавшиеся вещества из обработанных сточных вод.

Методы химической обработки наиболее приемлемы в системах локальной очистки сточных вод, где объемы очищаемой воды относительно невелики, а концентрация загрязняющих веществ значительна.

К химическим методам обработки сточных вод относят нейтрализацию, коагуляцию, флокуляцию, окисление и восстановление.

*Нейтрализации* подвергаются сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи. За регулируемый параметр нейтрализации стока принимают рН воды в пределах 6,5–8,5 после очистки. Для нейтрализации щелочных вод используют кислоты, а кислых – щелочи. Нейтрализацию можно проводить смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, адсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами.

Реагенты выбираются в зависимости от состава и концентрации кислой сточной воды. При этом учитывается возможность образования осадка.

Для нейтрализации сточных вод в последнее время начинают использовать отходящие газы, содержащие диоксид углерода и серы, оксиды азота и др. Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно произвести высокоэффективную очистку и обезвреживание газов от загрязняющих веществ.

*Коагуляция* – это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Ее применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. Коагуляция происходит под влиянием добавляемых к сточным водам специальных веществ – *коагулянтов*. Они образуют в воде хлопья гидроксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью сорбировать вещества, взаимно слипаться с коллоидными и взвешенными частицами, агрегировать их. В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа или их смеси. При выборе коагулянта учитывают состав сточных вод, его физико-химические свойства, стоимость и другие факторы.

*Флокуляция* – это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых *флокулянтами*. В отличие от предыдущего метода при флокуляции агрегация происходит не только при непосредственном контакте частиц, но и в результате взаимодействия макромолекул флокулянта, адсорбированного на частицах взвешенных веществ.

*Окисление и восстановление* вредных примесей, присутствующих в сточных водах, являются *деструктивными методами*. Они используются для перевода опасных в экологическом отношении веществ в безвредное или менее вредное состояние.

Для обработки сточных вод используются такие окислители, как газообразный и сжиженный хлор, диоксид хлора, хлорная известь, гипохлориты кальция и натрия, перманганат и бихромат калия, перекись водорода, кислород воздуха, озон, пиролюзит и др.

Для очистки сточных вод от различных растворимых и диспергированных примесей применяют *электрохимические методы*, в основу которых заложены процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлотации, электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. Электрохимические методы обработки позволяют достаточно просто извлекать из сточных вод ценные продукты без использования химических реагентов. Основным недостатком этих методов является большой расход электроэнергии.

*Электрокоагуляция* находит применение в различных отраслях промышленности. Процесс заключается в пропускании сточных вод через межэлектродное пространство электролизера. При этом происходит электролиз воды, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные процессы, образование гидроксидов металлов, взаимодействие продуктов электролиза.

*Электрофлотация* – очистка от взвешенных частиц происходит с помощью пузырьков газа, образующихся при электролизе воды. На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде – водорода. Поднимаясь в сточной воде, эти пузырьки захватывают взвешенные частицы. При использовании растворимых электродов кроме пузырьков газа происходит образование гидроксидов металлов, как при электрокоагуляции, что способствует более эффективной очистке сточных вод.

*Электродиализ* основан на разделении ионизированных веществ под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны мембраны. Этот процесс широко используется для опреснения соленых вод. Метод можно применять для обработки сточных вод, если они не содержат взвешенных веществ.

При обработке электродиализом сточных вод, содержащих соли кислот и оснований, можно получать кислоты и щелочи и вновь использовать их в производстве. Электроды для электродиализаторов должны изготавливаться из стойких к окислителям материалов (платины, магнетита, графита). Электродиализ может быть использован для очистки радиоактивных вод.

***Биологические методы очистки*** основаны на способности микроорганизмов использовать в качестве ростовых субстратов различные соединения, входящие в состав сточных вод. Достоинства данных методов заключаются в возможности удаления из сточных вод широкого спектра органических и неорганических веществ, простоте аппаратного оформления и протекания процессов, относительно невысоких эксплуатационных расходах.

Для биологической очистки сточных вод применяют два типа процессов:

- *аэробные*, в которых микроорганизмы используют для окисления веществ кислород;
- *анаэробные*, при которых микроорганизмы не имеют доступа ни к свободному растворенному кислороду, ни к предпочтительным акцепторам электронов типа нитрат-ионов.



В этих процессах в качестве акцептора электронов микроорганизмы могут использовать углерод органических веществ, содержащихся в сточных водах. При выборе между аэробными и анаэробными процессами предпочтение обычно отдают первым.

В аэробных процессах очистки часть окисляемых микроорганизмами органических веществ используется в процессах биосинтеза, другая превращается в безвредные продукты ( $H_2O$ ,  $CO_2$  (IV) и пр.).

В процессах биологической очистки принимает участие сложная биологическая ассоциация, состоящая из бактерий, одноклеточных организмов (водные грибы), простейших (амебы, жгутиковые и ресничные инфузории), микроскопических животных (коловратки, круглые черви – нематоды, водные клещи) и др. Эта биологическая ассоциация в процессе биологической очистки формируется в виде активного ила или биопленки.

*Активный ил* представляет собой буро-желтые хлопья размером 3–150 мкм, взвешенные в воде и образованные колониями микроорганизмов, в том числе бактериями. Последние образуют слизистые капсулы – *зооглеи*.

*Биопленка* – это слизистое обрастание материала фильтрующего слоя очистных сооружений живыми микроорганизмами толщиной 1–3 мм.

Аэробная биологическая очистка сточных вод проводится в различных по конструкции сооружениях – биофильтрах и аэротенках.

Анаэробные процессы очистки сточных вод по сравнению с аэробными имеют ряд несомненных преимуществ. Главными являются высокий уровень превращения углерода загрязняющих веществ при относительно небольших объемах прироста биомассы и получение дополнительного ценного продукта – биогаза. Анаэробные процессы для очистки сточных вод протекают в биореакторах – септиктенках, метантенках и биологических прудах.

Методы биологической очистки сточных вод эффективны и являются по существу обязательной составной частью системы очистки для каждого предприятия.

Очищенные сточные воды перед сбросом в поверхностные водоемы необходимо обеззараживать, так как в них могут находиться патогенные бактерии, вирусы, паразиты, приводящие

к вспышкам инфекционных заболеваний населения. Для этого чаще всего используется хлорирование, озонирование или УФ-обработка воды.

Для обезвреживания минерализованных сточных вод в настоящее время в основном используют *термические методы*. Они позволяют выделить из сточных вод соли и получить условно чистую воду, пригодную для нужд оборотного водоснабжения. Процесс разделения минеральных веществ и воды может быть проведен в две стадии: стадия концентрирования и стадия выделения сухих веществ. Во многих случаях вторая стадия заменяется захоронением концентрированных растворов. Концентрированные сточные воды можно непосредственно направлять на выделение сухого продукта (например, в распылительную сушилку).

Выбор метода обезвреживания зависит от состава, концентрации и объема сточных вод, их коррозионной активности, необходимой эффективности процесса.

## 9.3. Защита литосферы и обращение с отходами

### 9.3.1. Охрана земель

В соответствии с Кодексом Республики Беларусь о земле *охрана земель* – это система мероприятий, направленных на предотвращение деградации земель, восстановление деградированных земель.

Охрана земель от деградации и истощения – наиболее острая экологическая проблема. Связано это с тем, что при постоянном увеличении населения планеты пригодных для сельскохозяйственного производства земель, особенно пахотных, становится все меньше.

Поверхность земли испытывает самую значительную и очень опасную антропогенную нагрузку. Если в атмосферу выбрасывается более 1 млрд т загрязняющих веществ (без  $\text{CO}_2$ ), в гидросферу – около 15 млрд т, то на почву ежегодно попадает примерно 85–90 млрд т антропогенных отходов. По некоторым оценкам, их общий объем к концу 90-х гг. прошлого века превысил на планете 1500 км<sup>3</sup>.

Основными источниками антропогенного загрязнения земель являются:

- твердые и жидкие отходы добывающей, перерабатывающей и химической промышленности, теплоэнергетики и транспорта;

- отходы потребления, в первую очередь коммунальные отходы (КО);
- сельскохозяйственные отходы и применяемые в сельском хозяйстве ядохимикаты, удобрения;
- атмосферные осадки с загрязняющими веществами;
- аварийные выбросы и сбросы загрязняющих веществ и др.

Почвы относятся к так называемым *депонированным средам* (от лат. *deponere* – отдать, передавать на хранение), чем существенно отличаются от атмосферы и гидросферы, в которых загрязняющие вещества долго не задерживаются. В почвах загрязняющие вещества могут сохраняться десятилетиями (возможно, и столетиями), постепенно переходя в другие среды – воздух, воду, живое вещество, а с ними и в пищу человека. Вот почему так важно не допускать загрязнения почв несвойственными и чуждыми для них веществами, т.е. *ксенобиотиками* – тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами, фенолами, детергентами, пластмассами и т.п.

Почва – это такой объект деятельности человека, который легко разрушается, но очень трудно восстанавливается.

Мероприятия для защиты почв от деградации общеизвестны. К ним относятся все агротехнические средства – севообороты, рациональные приемы обработки почвы, экологически обоснованные посевы и посадки, правильный уход за растениями, борьба с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур преимущественно биологическими методами, природоохранная технология уборки урожая и многое другое.

В Беларуси назрела необходимость сбалансированного (по всем необходимым макро- и микроэлементам), умеренного применения удобрений, проведения учета накопления и определения потенциальной опасности для населения и животных нитратов, нитритов и N-нитрозосоединений, содержащихся в водах, осадках, почве и растениях. Данные о балансе и равновесии соединений азота с взаимодействующими веществами вод и почв должны служить основой рекомендаций о нормах, дозах и способах применения минеральных и органических удобрений, а также об использовании биологического азота для каждой сельскохозяйственной культуры севооборота.

Известкование и внесение в дерново-подзолистые почвы органических удобрений – важное условие уменьшения вредных для окружающей среды потерь питательных веществ. Снижение почвенной кислотности повышает эффективность

удобрений в целом, а органические удобрения при этом существенно увеличивают водоудерживающую способность почвы и сорбционные свойства, что повышает ее плодородие, улучшает физико-химические свойства и обеспечивает более полное использование растениями питательных веществ, содержащихся в почве.

Применение пестицидов в сельском хозяйстве должно быть строго регламентировано и использоваться только в том случае, когда другие методы защиты (агротехнические, селекционные, биологические и др.) не позволяют избежать потерь урожая возделываемых культур от вредителей, болезней и сорняков.

Главное требование к охране земельных ресурсов – это поддержание земельно-ландшафтного равновесия, т.е. установление и сохранение оптимального соотношения площадей пашни, пастбищ, лесов, болот, населенных пунктов. При охране земель необходимо соблюдать нормативные требования по борьбе с водной и ветровой эрозией, заболачиванием, засолением, подкислением, дегумификацией почв и другими неблагоприятными процессами, требования по рекультивации земель, защищать почвы от загрязнения.

Основные требования по охране земель установлены ст. 89 Кодекса Республики Беларусь о земле.

Землепользователи должны осуществлять в границах предоставленных им земельных участков следующие мероприятия по охране земель:

- благоустраивать и эффективно использовать землю, земельные участки;
- сохранять плодородие почв и иные полезные свойства земель;
- защищать земли от водной и ветровой эрозии, подтопления, заболачивания, засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения отходами, химическими и радиоактивными веществами, иных вредных воздействий;
- предотвращать зарастание сельскохозяйственных земель древесно-кустарниковой растительностью (насаждениями) и сорняками;
- сохранять торфяно-болотные почвы при использовании сельскохозяйственных земель, предотвращать процессы минерализации торфяников;
- проводить консервацию деградированных земель, если невозможно восстановить их исходное состояние;

- восстанавливать деградированные, в том числе рекультивировать нарушенные земли;
- снимать, сохранять и использовать плодородный слой земли при проведении работ, связанных с добычей полезных ископаемых и строительством.

Мероприятия по охране земель должны включать:

- региональные схемы использования и охраны земельных ресурсов, схемы землеустройства административно-территориальных и территориальных единиц, территорий особого государственного регулирования, проекты внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства и иную землеустроительную документацию;

- проектную документацию на размещение, строительство, реконструкцию, эксплуатацию, консервацию и снос объектов промышленности, транспорта, связи, обороны, коммунального, лесного, водного и сельского хозяйства, а также иных объектов, оказывающих воздействие на землю;

- проектную документацию по мелиорации земель;

- технические нормативные правовые акты, устанавливающие технические требования к технологическим процессам, непосредственно связанным с использованием земель в хозяйственной и иной деятельности.

Финансирование мероприятий по охране земель осуществляется за счет собственных средств землепользователей, средств республиканского и местных бюджетов, направляемых на эти цели в соответствии с законодательством, а также иных источников, не запрещенных законодательством.

## **9.3.2. Обращение с отходами производства и потребления**

### ***9.3.2.1. Общие сведения***

В соответствии с проведенными оценками каждая тонна мусора на стадии потребления сопровождается дополнительно образованием 10 т отходов на стадии производства и приблизительно 100 т – при добыче и получении сырьевых материалов. В соответствии с действующим законодательством отходы должны утилизироваться собственниками, а неиспользованная часть подлежит размещению или обезвреживанию.

При выборе методов обращения с отходами пользуются следующими понятиями:

- *размещение отходов* – хранение и захоронение отходов;

- *хранение отходов* – содержание отходов на объектах размещения в целях их последующего захоронения, обезвреживания или использования;

- *захоронение отходов* – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую природную среду;

- *использование отходов* – применение отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг или для получения энергии;

- *обезвреживание отходов* – обработка отходов, в том числе сжигание и обеззараживание их на специализированных установках, в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду.

В соответствии с действующим законодательством республики субъекты хозяйствования обязаны:

- внедрять экологически чистые, малоотходные, безотходные и ресурсосберегающие технологии;

- максимально использовать отходы производства и потребления;

- проводить лабораторный контроль качества окружающей среды в местах складирования и временного хранения отходов;

- возмещать в полном объеме вред, причиненный окружающей среде, здоровью и имуществу граждан и организаций при нарушении законодательства в области обращения с отходами;

- предоставлять любую информацию по вопросам образования отходов и обращения с ними;

- немедленно оповещать штаб Гражданской обороны, местные органы власти, а также органы Минприроды и санитарного надзора о случаях попадания опасных отходов в окружающую среду;

- обеспечивать транспортируемые и хранящиеся отходы специальными этикетками со знаками класса опасности, названия отходов, их агрегатного состояния, цвета, запаха, пожароопасных свойств, вида упаковки и специальных требований при обращении с ними, в том числе при аварии. Указывать адрес предприятия, где получены эти отходы.

Собственники отходов обязаны разработать и утвердить *Паспорт опасности отходов* и *Инструкцию по обращению*

с отходами производства, срок действия согласования инструкции составляет 5 лет.

Обезвреживание отходов должно осуществляться только на объектах обезвреживания отходов, эксплуатация которых производится в соответствии с требованиями, установленными законодательством Республики Беларусь в области обращения с отходами.

Сбор опасных отходов осуществляется с учетом класса опасности: отходы 1-го класса помещаются в тару – стальные баллоны, 2-го класса – в прочные полиэтиленовые мешки. Допускаются также другие виды тары для хранения опасных отходов, согласованные с органами санитарного надзора. Сбор опасных отходов в жидком состоянии и пастообразных осуществляется в герметичные и коррозионностойкие емкости, устанавливаемые в специально отведенном месте. Опасные промышленные отходы после затаривания взвешиваются, результаты вносятся в журнал учета.

В соответствии с действующими ТНПА опасные отходы предприятий подлежат временному хранению на их территории, пока не будет разработана технология по их утилизации или не будут созданы региональные полигоны для захоронения этих отходов.

На полигоны по обезвреживанию и захоронению опасных промышленных отходов принимаются только отходы 1–3-го классов опасности. Твердые промышленные отходы 4-го класса опасности по согласованию с органами санитарного надзора и коммунальными службами могут вывозиться на полигоны для складирования коммунальных отходов.

Складирование и захоронение промышленных отходов производится на платной основе на основании разрешений территориальных органов Минприроды.

Наиболее опасными являются такие отходы, которые содержат химически активные загрязнители, способные поступать в питьевую воду или в растения, служащие пищей для человека и сельскохозяйственных животных. Это в первую очередь синтетические яды, или *биоциды*, – соединения тяжелых металлов, пестициды, гербициды и прочие стойкие органические соединения, некоторые продукты нефтепереработки – циклические и полициклические ароматические углеводороды и др.

### 9.3.2.2. Использование отходов производства

В 2012 г. на предприятиях Беларуси образовано 1378 видов отходов в объеме 40,85 млн т. На долю отходов ОАО «Беларуськалий» в виде галитовых отходов, глинисто-солевых шламов приходилось 25,5 млн т и вскрышных пород – более 3,9 млн т.

Объем накопленных отходов на объектах хранения (в ведомственных местах хранения и на территориях предприятий) на конец 2012 г. составил 994,21 млн т. Отходов 1–4-го классов опасности на конец 2012 г. на предприятиях Беларуси образовано более 31908,1 тыс. т, из них 96% отходов – 4-го класса.

Уровень использования производственных отходов в Беларуси по состоянию на конец 2012 г. равнялся 32%.

Рассмотрим некоторые возможные методы переработки наиболее крупнотоннажных отходов промышленности Беларуси.

**Отходы производства хлорида калия.** Основными отходами процесса производства хлорида калия являются глинисто-солевые шламы и галитовые отходы. *Глинисто-солевые шламы* представляют собой суспензию нерастворимого остатка в минерализованном рассоле с концентрацией 200 г/л ( $J : T^* = 1,7-2,5$ ). Состав рассола (масс. %): KCl – 10–11, NaCl – 20–22. Твердая фаза состоит из мелкодисперсных частиц песка, глины и других включений, из них 70% частиц имеет размеры около 20 мкм.

В настоящее время ни один из методов утилизации шламов не реализован в промышленном масштабе. Одним из препятствий является их повышенная влажность (70–80%), мелкодисперсность и высокая вязкость. Поэтому до сих пор эти отходы хранятся в шламохранилищах. Однако если из глинисто-солевого шлама удалить водорастворимые соли и большую часть воды, то его состав окажется близким к составу мергелей (основное сырье для получения строительных материалов).

Известен способ сухого освобождения сильвинита от шламов. Метод основан на ферромагнитных свойствах оксида железа  $Fe_2O_3$ , концентрация которого в составе нерастворимого остатка достигает 5–7%.

---

\*  $J : T^*$  – отношение жидкой фазы к твердой.



По этому способу сильвинит измельчают, нагревают при температуре 150–160 °С в течение 15 мин и помещают в магнитное поле. Степень извлечения железа достигает 81%. Общая степень извлечения КСl также увеличивается. Сухие глинистые шламы могут быть использованы в качестве калийно-магниевого удобрения на песчаных почвах.

*Галитовые отходы* являются побочным продуктом основной стадии производства хлорида калия. На каждую тонну хлорида калия образуется 2,5–3 т галитовых отходов, основным компонентом которых является хлорид натрия. Кроме того, в отходах содержится небольшое количество КСl, MgCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, соединения брома и нерастворимый остаток. Усредненный состав галитовых отходов составляет (%): NaCl – 92–96; КСl – 1,2–2,5; MgCl<sub>2</sub> – 0,05–0,2; CaSO<sub>4</sub> – 0,6–2; нерастворимый остаток – 0,3–3 с влажностью 5–10. Отход представляет собой зернистую сыпучую массу, в которой содержится до 10% маточного раствора. Галитовые отходы, полученные после проведения флотации, содержат органические добавки.

Некоторое количество галитовых отходов используется в дорожном и коммунальном хозяйстве, а также в горнорудной промышленности. Однако потребность в этих отраслях не превышает 30–35% от общего количества образующихся отходов.

Одной из основных областей утилизации галитовых отходов является переработка их на техническую или пищевую поваренную соль.

В г. Мозыре работает завод по получению поваренной соли из галитовых отходов ОАО «Беларуськалий». Солевые отходы также используются в качестве сырья для получения поваренной соли на заводах в Италии и во Франции (до 10% от общего количества).

Одним из возможных путей использования галитовых отходов является приготовление из них рассолов для производства соды. Такой процесс осуществлен на Березниковском химическом комбинате.

Предложенные методы утилизации не решают проблемы ликвидации отходов при производстве калийных удобрений. Поэтому значительная часть их не находит применения и складировается. Наибольшее распространение получило складирование в отвалах. Обсуждается подземное захоронение и растворение отходов с последующей закачкой полученных рассолов в подземные горизонты.

Закачку отходов в глубинные горизонты осуществляют через поглощающие скважины ниже уровня грунтовых вод. Глубину скважин можно варьировать от нескольких сот метров до 4000 м. При этом необходимо соблюдать определенную щелочность раствора, рН отходов должно быть на 0,5 ниже, чем рН грунтовых вод. Кроме того, этот метод требует проведения постоянного мониторинга за состоянием скважин и грунтовых вод.

В производстве калийных удобрений образуются минерализованные рассолы. Они получают при обезвоживании свежих галитовых отходов и в результате их растворения при хранении. Общее содержание солей в них составляет 300–350 г/л, в том числе соединений брома – 0,5 г/л.

Очистка минерализованных вод признана нерациональной. Одним из наиболее перспективных методов, применяемых в России и за рубежом, является закачка их в подземные глубинные горизонты. Такая технология осуществляется в Германии, Франции, США, ЮАР. В этих странах созданы специальные службы для автоматизированного сброса сточных вод и контроля за состоянием подземных вод.

**Отходы производства фосфорных удобрений (фосфогипс).** Основным многотоннажным отходом производства фосфорных удобрений на Гомельском химическом заводе является *фосфогипс*. При получении 1 т фосфорной кислоты образуется 3,6–6,2 т фосфогипса в пересчете на сухое вещество или от 7,5 до 8,4 т влажного фосфогипса. Ежегодно на предприятии образуется более 700 тыс. т фосфогипса, из которых используется около 2% отходов.

Основу фосфогипса составляет соль  $\text{CaSO}_4$ , содержание которой в отходе достигает 94%. В качестве примесей в фосфогипсе присутствуют неразложившийся фосфат, остатки фосфорной кислоты, полуторные оксиды, соединения стронция и фтора, микропримеси редкоземельных элементов. Основными примесями в фосфогипсе являются  $\text{P}_2\text{O}_5$  и соединения фтора.

Фосфогипс представляет собой тонкодисперсный порошок, частично скомкованный, содержащий до 40% влаги (при дигидратном процессе) или до 25% влаги (при полугидратном процессе). Высушенный при температуре 200 °С фосфогипс при хранении вновь набирает влагу. Только термообработанный при 800 °С фосфогипс не поглощает влагу из воздуха.

Учитывая огромные объемы образующегося фосфогипса, актуальной проблемой является не только разработка способов его утилизации, но и удаления, транспортирования и хранения в отвалах и на шламохранилищах. Технологии утилизации фосфогипса должны быть направлены на выпуск многотоннажной продукции или большие объемы его использования.

В настоящее время используются разные способы использования фосфогипса.

*Удобрение солонцовых почв.* При внесении фосфогипса в почву происходит образование сульфата натрия, который легко вымывается из почвы. Для гипсования солонцов на 1 га почвы требуется 6–7 т фосфогипса. Его рекомендуют применять в качестве местных удобрений при радиусе перевозок не более 500 км и в количестве до 3 ц/га.

*Сырье в строительной промышленности.* Фосфогипс применяют в качестве регулятора сроков схватывания цемента или минерализатора при обжиге клинкерной шихты взамен природного гипсового камня.

Применение фосфогипса вместо природных материалов было освоено в промышленном масштабе с положительным экономическим эффектом. Однако, основным препятствием для его широкого использования является наличие в составе фосфогипса примесей оксида фосфора  $P_2O_5$ , в также необходимость его сушки и гранулирования. Содержание в фосфогипсе  $P_2O_5$  (V) более 0,15% приводит к увеличению сроков схватывании цемента и снижению его прочности.

*Вязущее вещество вместо природного гипса.* Процесс получения вязущих состоит из двух стадий: очистки фосфогипса от соединений фтора и фосфора и последующей дегидратации.

Дегидратацию осуществляют путем обжига в печах при температуре 150–170 °С или в автоклавах при 120–150 °С. Второй путь является более предпочтительным, так как при этом получают крупные кристаллы полугидрата.

Процессы производства вязущих материалов из фосфогипса были опробованы во многих странах. Фирма Кнауф (Германия) предлагает технологии получения из фосфогипса материалов для производства плит и строительного гипса.

*Переработка фосфогипса в серную кислоту.* Фосфогипс может быть переработан в серную кислоту с одновременным получением цемента или извести. В мире работают две установки по получению серной кислоты и извести из фосфогипса.

В свое время в СССР была предложена схема комплексной переработки фосфогипса. Метод основан на том, что технический СаО, получаемый из осадка СаСО<sub>3</sub> (фосфогипса), растворяется в некоторых аммонийных солях, а редкоземельные металлы остаются в осадке. Разработанная схема позволяет получить очищенный оксид кальция и концентрат редкоземельных элементов (РЗЭ), содержащий 5,6% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с выходом 99,5%. В Российской Федерации используется технология извлечения РЗЭ из фосфогипса. Для этого его смешивают с карбонатом аммония, измельчают и прокачивают. Получается оксид кальция, который в последующем растворяют в растворе поваренной соли. В результате процесса выпадает осадок в виде хлорида кальция и солей РЗЭ. В дальнейшем проводится процесс карбонизации, который позволяет получить чистый карбонат кальция, применяемый в производстве высококачественных строительных материалов.

Концентрат РЗЭ направляется на стадию извлечения отдельных компонентов.

*Складирование фосфогипса.* В настоящее время в мире перерабатывают около 2% производимого фосфогипса. Основное его количество удаляют в отвалы. Складирование фосфогипса производится либо в наземных отвалах, либо в специальных прудах-отстойниках. Транспортирование фосфогипса, устройство экранов под отвалами, нейтрализация образующихся при хранении фосфогипса сточных вод связаны с большими капитальными затратами.

**Резиносодержащие отходы.** Изношенные шины представляют собой самый крупнотоннажный вид полимерсодержащих отходов, практически не подверженных естественному разложению. Общеизвестно, что мировые запасы *изношенных автомобильных покрышек* (ИАП) оцениваются в 25 млн т при их ежегодном приросте не менее 7 млн т. В странах СНГ ежегодный объем выбрасываемых автошин оценивается величиной более 1 млн т. Ежегодно в Беларуси образуется более 50 тыс. т резиносодержащих отходов.

В настоящее время этот вид отходов производства и потребления складывается на территории предприятий и является существенным источником загрязнения окружающей среды.

Во-первых, несмотря на то что шины не подвергаются биологическому разложению, по мнению ряда исследователей, из резины в местах складирования шин может вымываться

ся целый ряд токсичных органических соединений, таких как азулен, бензотиазол, фенантрен, 2-метилбензотиазол, дефиниламин и множество других, в зависимости от состава используемых при производстве автошин мягчителей, ускорителей вулканизации и других добавок. Поступление таких трудно-разрушаемых веществ в окружающую среду может приводить к загрязнению подземных вод.

Во-вторых, большое скопление шин на территории предприятия создает повышенную пожарную опасность объекта. При горении шин в воздух могут поступать такие вредные продукты сгорания, как сажа, сернистый газ, пирен, фенантрен, антрацен, флуорантен, нафталин, бифенил, аценафтилен, флуорен, бензопирен и другие канцерогенные вещества.

В-третьих, при складировании ИАП служат идеальным местом размножения грызунов и кровососущих насекомых, которые являются переносчиками целого ряда тяжелых инфекционных заболеваний.

Но ИАП являются ценным полимерным сырьем, в каждой тонне которого содержится более 700 кг резины и 100–150 кг высококачественного металла. В свою очередь резина содержит 45–55% каучука и 25–35% технического углерода. Эти отходы человеческой деятельности могут быть повторно использованы для производства топлива, резинотехнических изделий и материалов строительного назначения, т.е. экономически эффективная переработка ИАП позволит решить не только экологические проблемы, но и обеспечить высокую рентабельность перерабатывающих производств.

В разных странах за рубежом ежегодно перерабатываются различные объемы ИАП – от 87% в Японии до 20–30% в США и большинстве стран Европы.

Для Беларуси в условиях постоянного повышения цен на энергоносители замена части технологических топлив, таких как природный газ и мазут, углеводородсодержащими отходами, в том числе ИАП, является чрезвычайно актуальной.

В настоящее время в мировой практике применяется целый ряд технологий по переработке и утилизации отходов резины и ИАП.

Эти технологии предполагают использование цельных шин для выработки энергии путем их сжигания в топках, для производства жидкого и газообразного топлива путем пиролиза, а также для получения резиновой крошки и порошка.

Однако имеющийся мировой опыт свидетельствует, что наиболее распространенными методами утилизации ИАП являются: сжигание их для выработки энергии, пиролиз при относительно низких температурах с получением легкого дистиллята, использование в качестве дополнительного технологического топлива в цементных печах, а также получение резинового крошки и порошка, применяемых для замены натурального и синтетического каучука при изготовлении полимерных смесей и строительных материалов.

Сжигание шин с целью получения энергии широко практикуется во всем мире. В западноевропейских странах (Англия, Германия, Италия) электроэнергию и теплоту из отходов резины и ИАП получают уже более четверти века.

В Беларуси сжигание ИАП в цементных печах реализовано на ОАО «Красносельскстройматериалы» и ПРУП «Белорусский цементный завод». Как показали исследования, сжигание ИАП в цементных печах при соблюдении технологического регламента не повышает экологическую опасность выбросов цементного производства.

**Углерододержащие отходы.** На предприятиях и организациях Беларуси накопилось более 40 тыс. т шламов минеральных масел, других остатков, содержащих нефтепродукты, отходов добычи нефти, эмульсий и смесей нефтепродуктов, которые могут быть использованы в виде топлива.

*Отработанные нефтяные масла* (ОНМ) являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды – почвы, водных источников и грунтовых вод. Огромный экологический ущерб наносит слив отработанных масел в почву и водоемы, который, по данным зарубежных исследователей, превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке. В связи с этим большое значение имеет полное или частичное восстановление качества отработанных масел (регенерация) с целью их повторного использования по прямому назначению или для иных целей.

Для утилизации *отработанных нефтепродуктов* (ОНП) используют разные методы.

*Термический крекинг.* В процессе термического крекинга и дистилляции отработанные гидравлические жидкости, моторные и смазочные масла преобразуются в полноценное топливо, подобное дизельному, которое может использоваться для отопления зданий и сооружений. Технология характеризуется

высокой эффективностью выхода целевого продукта, который достигает 75–85% от количества перерабатываемого сырья, а также небольшим количеством отходов (кокс и вода). В качестве сырья лучше использовать только отработанные масла, при этом имеется возможность изменения характеристик конечного продукта в зависимости от целей его применения. Единственным отходом технологического процесса является небольшое (около 0,5%) количество кокса, который периодически удаляется из котла крекинга. При коксовании происходит связывание содержащихся в ОНМ вредных веществ в нетоксичную форму, пригодную для захоронения.

*Регенерация.* В настоящее время для регенерации отработанных масел используют физические, физико-химические и химические методы. Исследования показали, что наиболее эффективным средством восстановления качества ОНМ являются *малогабаритные регенерационные установки*. Применение таких установок позволяет производить регенерацию ОНМ в местах их потребления, следовательно, исключается транспортировка отработанных масел на пункты переработки, что связано со значительными потерями масла и загрязнением окружающей среды.

В существующих регенерационных установках на начальных этапах восстановления качества ОНМ применяются физические процессы, позволяющие удалить из масла твердые загрязнения, воду и легкокипящие фракции, затем – физико-химические методы (главным образом коагуляция и адсорбция), а при необходимости химические методы регенерации, которые чаще применяются в заводских условиях.

*Регенерация на ходу.* Особый интерес представляет способ регенерации моторного масла непосредственно в процессе его эксплуатации. Одна из форм этого способа – ввод *трибохимического восстановителя (ТХВ)*, состоящего из щелочных реагентов и кристаллического йода, в смазочную систему двигателя внутреннего сгорания. Основной идеей использования трибохимических восстановителей в системах смазки механизмов является достижение эффекта безизносности трущихся поверхностей деталей при одновременном восстановлении и стабилизации физико-химических свойств смазочных масел путем создания саморегулирующейся и самовосстанавливающейся системы (например, двигатель и циркулирующее в нем масло).

Циркулирующее масло, взаимодействуя с элементами трибохимического восстановителя, восстанавливает и стабилизирует свои физико-химические свойства и одновременно стано-



вится носителем модификаторов трения, которые обеспечивают образование противоизносных, противокоррозионных и антифрикционных покрытий различного состава на поверхностях пар трения и внутренних поверхностях деталей механизмов.

Применение ТХВ позволяет использовать низкосортные масла и обеспечивать на некоторое время работу двигателя при недостаточном поступлении масла к узлам трения (масляное голодание). Также возможно совмещение ТХВ с регенерированными маслами и, учитывая уровень восстановления эксплуатационных свойств моторных масел, изучается возможность использования ТХВ в составе регенерационных установок для повышения щелочного числа и образования моюще-диспергирующих присадок.

*Выращивание биомассы.* ОНП (смазочно-охлаждающие жидкости, машинные и моторные масла), не подлежащие регенерации и вторичному использованию, а также остаточные нефтепродукты (котельное топливо, смазочные мазуты, гудроны, вазелины) и другие нефтепродукты кубового остатка можно утилизировать с помощью биологических методов и таким образом получать серию ценных биопрепаратов и физиологически активных соединений. Технология основана на выращивании микробной биомассы на отходах нефтепродуктов, являющихся источниками органического углерода. Конечным продуктом биотрансформации является микробная масса, которая может быть использована для различных целей.

Таким образом, существует множество подходов к решению проблемы утилизации ОТМ. Кроме уменьшения количества вредных выбросов в окружающую среду регенерация и повторное использование масел позволят извлечь дополнительную прибыль. При правильной организации процесса стоимость восстановленных масел будет на 40–70% ниже стоимости свежих масел при практически одинаковом их качестве. В индустриально развитых странах доля регенерированных масел от общего объема их производства составляет около 30%.

Наиболее простым способом утилизации углеводородсодержащих отходов является их сжигание в виде топлива.

**Полимерсодержащие отходы.** Мировое производство полимерных материалов ежегодно возрастает на 5–6% и составляет около 250 млн т. Отходы образуются в процессе получения, переработки полимеров и использования изделий из них. Например, процесс вакуум-формования листовых материалов



сопровождается образованием отходов в количестве 15–35% от производительности экструдера. Объем отходов при изготовлении преформ (полимерная заготовка для выдува бутылок) составляет 0,6–0,9%, а при изготовлении емкостей из преформ – около 0,3%. Основной вклад в образование отходов потребления вносит использованная упаковочная тара, в основном бутылки из-под напитков. Взрывной характер производства этого вида упаковочной тары, повышение мировых цен на нефть и соответственно на полиэтилентерефталат (ПЭТ), повлияли на необходимость организации сбора и использования полиэфирных бутылок.

В структуре всех образующихся полимерных отходов отходы ПЭТ составляют более 30%, но перерабатывается в настоящее время только 12% из них. Ежегодный общемировой объем перерабатываемых отходов ПЭТ достигает 1 млн т. Основные направления использования вторичного ПЭТ: волокно – 7%; пленки – 10; обвязочный материал – 16; упаковочные материалы – 66%.

В настоящее время известно несколько экономически обоснованных способов рециклинга ПЭТ, которые условно можно разделить на три группы: механические, термические и физико-химические.

*Механические способы.* Наиболее распространенным методом переработки бытовых отходов ПЭТ остается механический рециклинг по схеме: мойка, сушка, измельчение в хлопья с последующим использованием для получения волокна или нетканых полотен. В США из вторичного ПЭТ производится почти половина всех полиэфирных волокон, в Европе – около 70%. С добавлением вторичного ПЭТ производят нетканые полотна для шумоизолирующих материалов, геотекстиля, фильтрующих и абсорбирующих элементов, утеплителя и т.д.

*Термические способы.* Продукты термической деструкции ПЭТ используются при получении пластификаторов, лаков, покрытий и др. Термическое разложение при более низких температурах в присутствии катализаторов позволяет получить исходные мономеры с последующим использованием их в качестве сырья при проведении процесса поликонденсации.

*Физико-химические способы.* К таким видам рециклинга ПЭТ относят повторное плавление отходов при получении изделий экструзией или литьем под давлением, получение композиционных материалов, химическую модификацию и сольволиз.

Немецкой фирмой «Карл Фишер Индастрианлаген ГмбХ» разработан процесс получения высококачественной продукции под названием «РЕТгус» путем совместной переработки всех видов полиэфирных отходов. В основе данного процесса лежит стадия дополиконденсации полученного при плавлении отходов низковязкого расплава. При этом осуществляется повторная активация неактивных концевых групп этиленгликолем и добавляются специальные добавки для соединения макромолекулярной цепи. Полученный полимер используется, например, для формования полиэфирных нитей, производства спанбонда и экструдирования пленки.

При переработке отходов по принципу «бутылка в бутылку» может применяться так называемая многослойная технология, когда слой вторичного ПЭТ оказывается между двумя слоями первичного высококачественного полимера. Многослойные бутылки могут содержать до 50% вторичного ПЭТ; эта технология используется в настоящее время в Швейцарии, Швеции и США.

Перспективным направлением является создание на основе вторичного ПЭТ нанокompозитных материалов с использованием нанонаполнителей (органомодифицированные алюмосиликаты, нанотрубки, фуллерены и др.). Нанокompозитные материалы на основе вторичного ПЭТ и слоистых алюмосиликатов обладают комплексом высоких эксплуатационных характеристик, способных обеспечить их применение в различных областях промышленности.

**Гальванические шламы.** Ежегодно таких отходов на предприятиях Беларуси образуется от 5 до 8 тыс. т. Сотни тысяч тонн их накоплены на полигонах.

Гальванические шламы могут и должны являться сырьем для дальнейшей переработки (использования). В России уже с 1997 г. применяются безотходные технологии, позволяющие использовать гальванические шламы различной степени опасности при производстве кирпича и других строительных материалов, пигментов, красок, различных сухих строительных смесей и пр.

Отсутствие таких производств в Беларуси вызвано в первую очередь тем, что объем образования гальванических шламов на каждом конкретном предприятии незначителен. Обезвреживать, а тем более перерабатывать их в местах образования не выгодно и требует больших затрат. Поэтому более ра-

циональным решением может стать создание региональных центров переработки (сбора) гальванических отходов. Создание таких центров и применение опыта зарубежных предприятий может не только способствовать улучшению экологической обстановки, но и приносить значимый экономический эффект.

### 9.3.2.3. Обращение с отходами потребления

В 2012 г. на территории страны было образовано 4041 тыс. т отходов потребления, из них на долю *твердых коммунальных отходов* (ТКО) приходилось 3068 тыс. т, или 76%. Они содержат значительное количество вторичных материальных ресурсов (ВМР) (табл. 9.5).

Таблица 9.5. Примерный усредненный годовой морфологический состав и физические свойства ТКО

Наименование компонентов	Содержание в общей массе, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %
Картон, бумага	25–30	50–70	25–30
Пищевые отходы	30–38	450–550	70–92
Дерево	1,5–3,0	220	15–25
Металл	2,2–3,8	220	3
Кость	0,5–2,0	360–520	20–30
Кожа, резина	2,0–4,0	220–250	15–35
Текстиль	4,0–7,0	160–180	20–40
Стекло	5,0–8,0	1200	1–2
Камни	1,0–3,0	1500	2,0
Пластмасса	2,0–5,0	30–100	2–5
Прочие	1,0–2,0	–	–
Отсев мельче 16 мм	7,0–13	770	15–25

Примечания: 1. Основная масса ТКО (95–98%) имеет размер менее 0,25 м.

2. Средняя плотность в местах сбора составляет около 200 кг/м<sup>3</sup>.

3. Средняя влажность – 52%.

В настоящее время частично налажен отдельный сбор и заготовка ТКО как вторичного сырья (картон, бумага, стекло, полимеры, черные и цветные металлы, текстиль). Общее количество заготовленных в 2012 г. ВМР составило 945,9 тыс. т, но пока основная их масса сваливается на полигонах.

Всего на территории Беларуси зарегистрировано 175 полигонов ТКО и 80 накопителей промышленных отходов. Суммарная площадь земель для них составляет около 900 га, более

50% выделенной территории уже полностью занято отходами. В сельской местности в последние годы создана сеть санкционированных мест складирования отходов – 2687 *мини-полигонов* (объекты захоронения ТКО годовой мощностью до 5 тыс. м<sup>3</sup>, или до 1 тыс. т в год).

При хранении ТКО самовозгораются, дымят, при гниении их выделяются вредные и ядовитые вещества. При разложении ТКО в массе образуется значительное количество метана, который не только загрязняет атмосферу, но и может создавать взрыво- и пожароопасную обстановку в местах захоронения отходов. В составе газов, выделяющихся в процессе гниения ТКО, содержатся: поливинилхлорид – до 48 мг/м<sup>3</sup>, дихлорметан – 106; дихлоранфторметан – 35; толуол – 236; этилбензол – 20; ксилол – 20; циклогексан – 43; сернистые соединения – до 633 и более 20 других веществ с концентрацией от 3 до 14 мг/м<sup>3</sup>.

Наличие в ТКО тяжелых металлов, обладающих высокой токсичностью, представляет особую опасность для окружающей среды. В 1 кг ТКО содержатся: мышьяк – до 6 мг; свинец – 3000; кадмий – 50; хром – 2810; медь – 1000; марганец – 200; никель – 189; ртуть – 15; цинк – 4000 мг. Следовательно, в 1 кг ТКО может содержаться от 285 до 11 260 мг различных тяжелых металлов, которые со свалок под воздействием влаги попадают в почву и грунтовые воды.

Свалки являются весьма существенным источником возникновения болезнетворных микроорганизмов. С помощью многочисленных обитателей свалок (птиц, животных и насекомых) они разносятся в населенные пункты, создавая опасность появления эпидемий инфекционных заболеваний, в том числе и птичьего гриппа.

В настоящее время наиболее перспективным направлением борьбы с накоплением ТКО является их *обезвреживание*, представляющее собой деятельность, направленную на обработку, сжигание или уничтожение их иным способом, в том числе приводящую к уменьшению объема ТКО и (или) ликвидации их опасных свойств (за исключением деятельности по захоронению ТКО), не связанной с их использованием.

Обезвреживание отходов может осуществляться только в случае отсутствия объектов по их использованию или при экономической нецелесообразности такого использования.

Обезвреживание можно производить термическими, механическими, физико-химическими, биологическими и комбинированными методами.

Более целесообразны *физико-химические методы* переработки полимерных отходов:

- деструкция отходов с целью получения мономеров или олигомеров, пригодных для получения волокна и пленки;
- повторное плавление отходов для получения гранулята, агломерата и изделий экструзией или литьем под давлением;
- переосаждение из растворов с получением порошков для нанесения покрытий;
- получение композиционных материалов;
- химическая модификация для производства материалов с новыми свойствами и др.

*Биологические методы* осуществляются в виде:

- аэробной стабилизации, представляющей биологическое разложение органических веществ ТКО микроорганизмами в присутствии кислорода;
- анаэробного сбраживания (метаногенез) – это аналогичный процесс, проходящий при отсутствии или дефиците кислорода.

Биологические методы обезвреживания ТКО позволяют извлекать ВМР и получать биогаз, компост или гумус.

В настоящее время в Беларуси на Минском полигоне «Тростенец» смонтирована установка для активной дегазации полигона, которая позволяет через 37 специально пробуренных газодренажных скважин собирать метан, образующийся в биохимических процессах. Метан сжигается в трех газопоршневых агрегатах мощностью по 1 МВт с получением электроэнергии и теплоты, которые используются по прямому назначению.

По предварительным расчетам, общая мощность производимой электроэнергии составит около 24 млн кВт в год. Похожая установка будет внедрена и на Брестском полигоне ТКО.

Перерабатывать органические вещества ТКО можно и в специальных реакторах. Субстанция выдерживается в реакторе при определенной температуре 15–20 дней. Размер одного реактора может достигать 5000 м<sup>3</sup>. Этот объем примерно соответствует количеству отходов от 200 тыс. человек. При необходимости по окончании анаэробной переработки субстанция пастеризуется, высушивается в твердую массу, составляющую 35–45% от первоначального объема. На следующей стадии

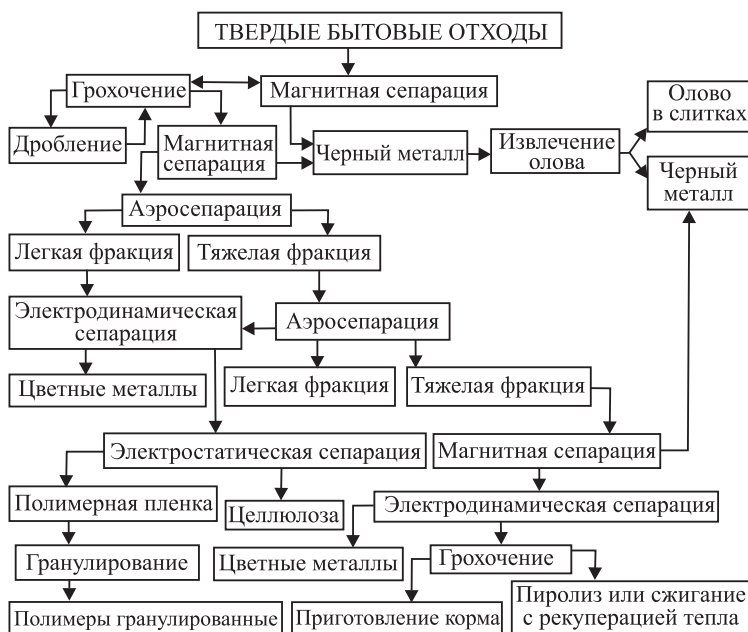


Рис. 9.2. Типовая технологическая схема обезвреживания коммунальных отходов

масса может быть подвергнута аэрации и просеиванию для улучшения показателей хранения, эстетического вида и удобства использования.

*Комбинированные методы* представляют собой сочетание двух или более методов обезвреживания ТКО. Типовая технологическая схема обезвреживания коммунальных отходов представлена на рис. 9.2.

Эксплуатация объектов обезвреживания отходов, приводящая к образованию стойких органических соединений в количестве, превышающем НДВ, а также уничтожение ВМР запрещается.

### 9.3.3. Охрана недр

В Беларуси приняты Кодекс о недрах, Правила рациональной комплексной переработки твердых полезных ископаемых и другие ТНПА, которые регулируют отношения, возникаю-

щие в связи с геологическим изучением, использованием и охраной недр Беларуси.

**Недра** – часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности, дна водоемов, водотоков.

Основные требования по охране и защите недр:

- обеспечивать полное и комплексное геологическое изучение недр;
- соблюдать установленный порядок пользования недрами и не допускать самовольного пользования ими;
- наиболее полно извлекать из недр и рационально использовать запасы основных полезных ископаемых и попутных компонентов;
- рационально использовать вскрышные породы;
- не допускать вредного влияния работ, связанных с пользованиями недрами, на сохранность полезных ископаемых;
- предупреждать самовольную застройку площадей залегания полезных ископаемых;
- безотлагательно сообщать органам и подразделениям по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, а также местным исполнительным и распорядительным органам о возникновении при пользовании недрами чрезвычайных ситуаций, угрожающих жизни и здоровью граждан, имуществу граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, и юридических лиц, имуществу, находящемуся в собственности государства, окружающей среде;
- при обнаружении материальных объектов, которые могут представлять историко-культурную ценность (археологические объекты, элементы декора, художественной отделки, остатки росписи и т.п.), безотлагательно остановить работы или иную деятельность, которые могут оказывать воздействие на эти объекты, принять меры по их сохранению и сообщить об этих находках в государственные органы, определенные законодательством об охране и использовании историко-культурного наследия;
- разрабатывать и осуществлять мероприятия по охране недр и защите месторождений;
- возмещать вред, причиненный при пользовании недрами жизни и здоровью граждан, имуществу граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, и юридических лиц, имуществу, находящемуся в собственности государства;

- предотвращать загрязнение недр при подземном хранении нефтепродуктов, нефти, газа и иных веществ, захоронении загрязняющих веществ и отходов производства;
- проводить рекультивацию земель, нарушенных при пользовании недрами;
- проводить локальный мониторинг окружающей среды в границах предоставленного горного отвода, а также за его пределами в случае, если негативные последствия для нарушенных земель, иных компонентов природной среды и природных объектов, зданий и сооружений могут быть связаны с проведением горных работ;
- вести в соответствии со ст. 72 настоящего Кодекса о недрах наблюдения за сдвижением горных пород в зоне их возможных деформаций и осуществлять прогнозирование возможной деформации земной поверхности и горного массива в результате проведения горных работ;
- приводить нарушенные при пользовании недрами иные компоненты природной среды и природные объекты, а также здания и сооружения в состояние, пригодное для их дальнейшего использования.

В основу защиты недр должно быть положено неистощительное их использование, т.е. принцип наиболее полного изъятия основных и попутных полезных ископаемых. Так, известно, что если повысить отдачу недр всего на 1%, то можно дополнительно получать 9 млн т угля, около 9 млрд м<sup>3</sup> газа, свыше 10 млн т нефти, около 3 млн т железной руды.

Также важно максимально возможное комплексное использование минерального сырья, включая утилизацию отходов.

При пользовании недрами в качестве природоохранных мероприятий осуществляют охрану земной поверхности, поверхностных и подземных вод, месторождений, проводят рекультивацию (восстановление) выработанных участков, предотвращают вредное воздействие разработки месторождения на окружающую среду в целом.

### 9.3.4. Рекультивация использованных земель

*Рекультивация земель* представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.



На основании действующих ТНПА рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность в результате отрицательного воздействия нарушенных земель.

Рекультивацию земель выполняют в два этапа:

- технический, к которому относятся: планировка; формирование откосов (снятие земли, ее транспортирование) и нанесение плодородной почвы на рекультивируемые земли; при необходимости – коренная мелиорация; строительство дорог, специальных гидротехнических сооружений и др.;

- биологический, который включает в себя комплекс агротехнических и гидромелиоративных мероприятий по восстановлению нарушенных земель.

Рекультивация земель является составной частью технологических процессов, связанных с нарушением земель при открытых горных работах, подземных горных работах, добыче торфа, строительстве и эксплуатации линейных сооружений (например, магистральных трубопроводов и отводов от них), выполнении геологоразведочных, изыскательских и других работ. Наибольший опыт в области рекультивации земель накоплен в Германии, где такие работы ведутся планомерно уже более 30 лет.

Предусмотрены следующие направления использования рекультивируемых земель: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, водохозяйственное и санитарно-гигиеническое. Последнее направление предусматривает консервацию шламоотстойников, хвостохранилищ, золоотвалов и других промышленных отвалов, содержащих токсичные вещества, с соблюдением санитарно-гигиенических норм.

В соответствии с действующим законодательством нарушенные земли должны быть рекультивированы преимущественно под пашню и другие сельскохозяйственные угодья. Рельеф и форма рекультивированных участков должны обеспечивать их эффективное хозяйственное использование.

Если рекультивация земель в сельскохозяйственных целях нецелесообразна, создаются лесонасаждения для увеличения лесного фонда, оздоровления окружающей среды или защиты земель от эрозии; при необходимости создаются рекреационные зоны и заповедники.

Подбор видов древесных, кустарниковых растений и трав должен осуществляться с учетом степени химического и физического выветривания поверхностного слоя отвалов шахтных пород.

Рекультивируемые земли и прилегающая к ним территория после завершения всего комплекса работ должны представлять собой оптимально организованный и экологически сбалансированный устойчивый ландшафт.

В общем случае проведение работ по рекультивации включает следующие стадии:

- проектно-изыскательские работы (почвенные и другие полевые обследования, лабораторные анализы, картографирование);
- определение характеристики очищаемого объекта (инженерно-геологические показатели, качественные и количественные показатели загрязнений, микробиологические и агрохимические показатели очищаемого грунта);
- локализация загрязнений;
- обваловка, применение сорбентов;
- очистка территории от загрязнений;
- механическая, сорбционная и микробиологическая очистка почвы;
- химический и микробиологический контроль процесса очистки почвы;
- приобретение плодородного слоя почвы (при необходимости);
- нанесение на рекультивируемые земли потенциально плодородных пород и плодородного слоя почвы;
- ликвидация промышленных площадок, транспортных коммуникаций, электрических сетей, зданий и сооружений, других объектов (при необходимости);
- очистка рекультивируемой территории от производственных отходов;
- устройство дренажной и водоотводящей сети для последующего использования рекультивированных земель (при необходимости);
- приобретение и посадка саженцев деревьев и кустарников;
- подготовка дна, обустройство карьерных и других выемок при создании в них водоемов (при необходимости);
- восстановление плодородия рекультивированных земель, передаваемых в сельскохозяйственное, лесохозяйственное и иное использование (приобретение семян, удобрений, мелиорантов и их использование и др.).

## 9.4. Защита окружающей среды от физических воздействий

### 9.4.1. Основные методы и средства защиты от шума и вибрации

В Беларуси 62% территорий, прилегающих к автомобильным, железнодорожным, трамвайным магистралям, 80% зон отдыха, 41% территорий общественных зданий, в том числе лечебно-профилактических учреждений, школ, детских садов и других территорий населенных мест, находится под воздействием шума, превышающего допустимые уровни. В условиях акустического дискомфорта различной степени выраженности (превышение ДУ от 2 до 15 дБА) проживает до 40% населения городов, в условиях вибрационного дискомфорта с превышением ДУ от 10 до 21 дБ – 20%.

Основными источниками внешнего шума на городских территориях являются транспортные магистрали, шум которых в течение 18–20 ч на примагистральных территориях преобладает над остальными источниками.

По прогнозным показателям количественного и качественного состояния и состава автомобильного парка г. Минска к 2020 г. уровень шума транспортных магистралей возрастет в среднем на 1,5 дБА за счет роста интенсивности движения.

Для снижения акустического загрязнения окружающей среды используют:

- замену шумных источников и технологий на малошумные;
- изменение направленности излучения шума источником;
- снижение шума по пути распространения от источника до защищаемого от шума места;
- архитектурно-планировочные меры;
- организационные мероприятия;
- улучшение качества воспринимаемого звука;
- новые акустические технологии.

*Замена шумных источников на малошумные* является самой кардинальной мерой борьбы с шумом. Например, замена двигателя внутреннего сгорания на электродвигатель существенно снижает внешний шум автомобилей, строительных машин и др. Электромобиль почти на 15 дБА менее шумен, чем автомобиль с дизельным двигателем. Примером удачного использования малошумной технологии можно считать также забивку свай с помощью бурения, что позволяет снизить шум

по сравнению с вибропогружением или ударным погружением на 30–40 дБА. Можно привести и другие примеры снижения шума в источнике образования. Например, шум, генерируемый шинами автомобиля при движении, может быть снижен на 3–4 дБА при замене асфальтового покрытия специальным покрытием с содержанием резины. Шум при качении колеса по рельсам можно ослабить на 8–10 дБА, снизив волнообразный износ рельсов их шлифованием.

*Ослабление шума в источнике его образования* обеспечивается уменьшением силового воздействия или звукоизлучающей способности его элементов. В первом случае уравнивают вращающиеся части, увеличивают время соударения деталей, уменьшают зазоры в сочленениях и соединениях, а также частоту вращения, линеаризируют аэродинамические и гидравлические потоки, снижают скорость движения. Во втором – демпфируют вибрирующую поверхность, излучающую звук, уменьшают площадь звукоизлучения, нарушают синфазность колебаний излучающей поверхности, увеличивают коэффициент потерь материалов, из которых изготавливают детали источника шума.

*Снижение шума в окружающей среде изменением направленности излучения* основано на том, что некоторые источники шума (в основном аэродинамического происхождения) неравномерно излучают шум в окружающее пространство. Показатель направленности, например, для реактивной струи может достигать 10–15 дБ, поэтому при направлении среза струи в сторону, противоположную защищаемому объекту, на эту величину может быть уменьшен шум в окружающей среде. Несколько меньший эффект (до 5 дБ) может быть достигнут при направлении, например, среза трубы для сброса воздуха или отверстия воздухозаборной шахты в сторону, противоположную жилому району.

Для *снижения шума на пути распространения* используют два принципа: защита расстоянием, которое обеспечивает затухание звука в пространстве, и установка на пути распространения сооружений, которые обеспечивают отражение звука. В частности, при удвоении расстояния от точечного источника звука, например со 100 до 200 м или с 500 до 1000 м, шум уменьшается на 6 дБА. Если источник шума протяженный, линейный (например, движущийся поезд), то на расстояниях, сравнимых с его длиной, при удвоении расстояния действует закон снижения шума на 3 дБА.

К *архитектурно-планировочным мерам* защиты от шума относятся приемы, способствующие как снижению шума, так и повышению звукоизолирующей способности ограждающих конструкций зданий и сооружений. Для реализации первого направления наряду с акустическими экранами, зелеными насаждениями, расположением транспортных потоков в выемках используются шумозащитные дома, в которых приняты меры по уменьшению воздействия шума от транспортного потока (на транспортную магистраль выходят окна нежилых помещений), а сам дом располагается по отношению к шумной магистрали так, чтобы за ним образовывалась зона акустической тени. Такие дома позволяют снизить шум на 15–20 дБА.

Как правило, архитектурная планировка, обеспечивающая акустический комфорт, включает комплекс мер по защите от шума: районирование жилых массивов, зеленые насаждения, расположение шумных магистралей на значительном удалении, строительство шумозащитных домов и пр. Шумозащитное зонирование территории города предполагает отделение транспортных магистралей промышленной зоной и торговыми предприятиями от жилого района.

В последние годы для снижения уровня шума в жилых и общественных помещениях используют современную *звукоизоляцию окон*. Для этого применяют специальное акустическое двойное и даже тройное остекление окон с уплотнением притворов, введением звукопоглощения по контуру в межоконном пространстве, увеличением толщины воздушного промежутка. Кроме того, используют окна из тяжелого стекла с повышенной звукоизоляцией. Звукоизолирующая способность акустически обработанного остекления приближается к звукоизоляции стен и достигает 45–50 дБА, что обеспечивает акустический комфорт помещений.

К *организационным мероприятиям* по снижению шума в окружающей среде можно отнести: запрещение звуковых сигналов (это позволило повсеместно снизить шум в городах на 10 дБА); контроль за уровнем шума в городах; ограничение времени и места движения грузовых автомобилей и мотоциклов; вынесение шумных предприятий из спальных зон; рациональную организацию движения транспортных потоков; запрещение работы шумных источников (например, громкоговорящей связи на сортировочных и грузовых станциях); регламентацию работы шумных источников (например, запрещение включать громкую музыку после 23.00).

Помимо этого внедряется еще одно направление улучшения качества воспринимаемого звука – изменение его спектра на более благоприятный, маскировка неприятных звуковых сигналов и пр. Это предмет изучения бурно развивающейся науки, которая носит название *психоакустики*.

*Принцип защиты расстоянием* осуществляется путем создания санитарно-защитной зоны (СЗЗ) между источником шума (железной или автомобильной дорогой, вентиляционной шахтой, строительной площадкой и т.д.) и жилой застройкой. На практике СЗЗ может быть 50 м и более, что зачастую явно недостаточно для снижения шума в жилой застройке до нормативных требований. Шум интенсивного автотранспортного многополосного потока в дневное время достигает 80–85 дБА на расстоянии 7,5 м. Автотранспортный поток (АТП) является линейным источником звука, поэтому его затухание равно 3 дБА при удвоении расстояния. Нетрудно подсчитать, что на расстоянии 100 м (при отсутствии зеленых насаждений и сооружений на пути распространения) шум АТП снижается приблизительно до 70–75 дБА при норме 55 дБА, т.е. требуется дополнительное снижение шума на 15–20 дБА. В этом случае основной конструкцией, снижающей шум на пути от источника до защищаемого объекта (жилого района), являются акустические экраны (АЭ) или иные сооружения, которые могут дать экранирующий эффект, например дома, стенки, выемки, зеленые насаждения.

Акустический экран создает зону звуковой тени в результате частичного отражения звука от его поверхности. Эффективность АЭ или экранирующего сооружения ухудшается из-за дифракции звуковыми волнами препятствия между источником звука и защищаемым от шума объектом. Дифракция возрастает с увеличением длины звуковой волны и снижается при увеличении размеров АЭ. Эффективность экранирующих сооружений ориентировочно составляет (в зависимости от размеров и других особенностей): насыпи – 5–15 дБА, зеленых насаждений – 3–8, выемки – до 25–30, здания (экрана) – 15–20 дБА.

Акустические экраны устанавливаются вдоль автодорог, железнодорожных магистралей, вблизи аэропортов. Длина АЭ, установленных в США, Германии, Японии, Швейцарии, Италии, Франции и других странах, достигает десятков тысяч километров.

Эффективность АЭ колеблется в диапазоне 5–15 дБА, но в отдельных случаях может достигать 20 дБА и более при больших углах дифракции. Акустический экран создает зону звуковой тени в результате частичного отражения звука от его поверхности.

Шумозащитные экраны для повышения их эффективности должны устанавливаться на минимально допустимом расстоянии от автомагистрали или железной дороги с учетом требований по безопасности движения, эксплуатации дороги и транспортных средств.

#### **9.4.2. Средства и методы защиты от воздействия электромагнитных полей**

*Электромагнитные поля* (ЭМП) имеют естественное и искусственное происхождение. Все естественные источники ЭМП разделяют на две категории:

- земные (электрические и магнитные квазистатические поля Земли, атмосферные разряды, а также излучения живых организмов);
- внеземные (излучения звезд, планет и галактик).

*Естественное электрическое поле* Земли связано с процессами ионизации воздуха, протекающими в нижних слоях атмосферы, в ионосфере, магнитосфере, а также в ближнем межпланетном пространстве и на Солнце. Ионизация воздуха происходит под действием космических лучей; УФ-излучения Солнца; излучения радиоактивных веществ, имеющих на поверхности Земли и в воздухе; электрических разрядов в атмосфере и т.д.

Напряженность электрического поля у поверхности Земли составляет 120–130 В/м и убывает с высотой примерно экспоненциально. Годовые изменения электрического поля сходны по характеру на всем земном шаре: напряженности максимальны (до 150–250 В/м) в январе-феврале и минимальны в июне-июле (100–120 В/м). Суточные вариации электрического поля в атмосфере определяются главным образом грозовой деятельностью.

*Магнитное поле* Земли имеет две пространственные составляющие: горизонтальную, которая максимальна у экватора (20–30 А/м) и убывает к полюсам (2–10 А/м), и вертикальную, которая у полюсов равна 50–60 А/м и уменьшается к экватору до малого значения. На напряженность магнит-



ного поля в конкретной точке влияют так называемые магнитные аномалии в некоторых районах Земли, а также излучения Солнца.

Частотный спектр *атмосферных разрядов* лежит в диапазоне от сотен герц до примерно 30 МГц. Максимум интенсивности находится вблизи 10 кГц. Данный вид ЭМП определяется электрическими грозовыми разрядами и полярными сияниями. Во время вспышек на Солнце интенсивность атмосферных разрядов увеличивается.

Любое техническое устройство, использующее либо вырабатывающее электрическую энергию, – источник ЭМП. Особенностью облучения в городских условиях является воздействие на население как суммарного электромагнитного фона (интегральный параметр), так и сильных ЭМП от отдельных источников (дифференциальный параметр). Последние могут быть классифицированы по нескольким признакам, общим из которых является частота ЭМП.

Электромагнитный фон в городских условиях имеет выраженный временной максимум от 10.00 до 22.00, причем в суточном распределении наибольший динамический диапазон изменения электромагнитного фона приходится на зимнее время, а наименьший – на лето. Для частотного распределения электромагнитного фона характерна многомодальность. Наиболее характерные полосы частот: 50–1000 Гц – энергоснабжение; 1–32 МГц – вещание коротковолновых станций; 66–960 МГц – телевизионное и радиовещание, радиотелефонные системы и радиорелейные линии связи.

Интенсивность фона зависит от географических координат места наблюдения, состояния ионосферы, излучения Солнца и галактик, расписания работы радиостанций, интенсивности автомобильного движения и близости к электроэнергетическим источникам.

Наиболее интенсивным источником ЭМП являются воздушные линии электропередачи (ЛЭП) промышленной частоты (50 Гц). Интенсивность ЭМП от данного источника во многом зависит от напряжения линии (110, 220, 330 кВ и выше). Средние значения на рабочих местах электромонтеров:  $E = 5\text{--}15\text{ кВ/м}$ ,  $H = 1\text{--}5\text{ А/м}$ ; на маршрутах обхода обслуживающего персонала:  $E = 5\text{--}30\text{ кВ/м}$ ,  $H = 2\text{--}10\text{ А/м}$ . В жилых зданиях, расположенных вблизи высоковольтных линий, напряженность электрического поля, как правило, не превышает 200–300 В/м, магнитного – 0,2–2 А/м (0,25–2,5 мТл).



Напряженности электрических полей в жилых помещениях вблизи протяженных проводов, включенных в сеть 220 В, составляют 0,7–2 кВ/м, вблизи бытовых приборов с металлическими корпусами (пылесосы, холодильники) – 1–4 кВ/м.

Радиопередающие устройства, используемые для радиолокации, радионавигации и связи, работают в очень широком частотном диапазоне: от 9 кГц до сотен гигагерц. Мощности, излучаемые передающими антеннами, также весьма разнообразны.

Особым типом радиопередающих устройств являются радиотелефонные системы с сотовой структурой и бесшнуровые телефоны. Распространенными стандартами сотовой радиосвязи в нашей стране являются:

- GSM-900 (диапазоны частот 890–915 и 935–960 МГц);
- NMT-450 (диапазоны частот 453–457 и 463–467 МГц);
- AMPS, AMPS-D (диапазоны частот 824–849 и 869–894 МГц).

Начали свое развитие сети стандарта GSM-1800 (диапазоны частот 1710–1785 и 1805–1880 МГц).

Выходная мощность базовых станций сотовой радиосвязи составляет до 100 Вт, современных передатчиков автомобильных станций – до 6 Вт, ручных радиотелефонов – до 2 Вт (с автоматическим управлением мощностью).

Режим работы базовых станций зависит от времени суток. Для центра города характерный максимум излучений приходится на период с 11.00 до 17.00, а для «спальных» районов имеют место два максимума – с 09.00 до 10.00 и с 19.00 до 20.00.

Бесшнуровые бытовые и офисные телефоны рассчитаны на весьма малый радиус действия, их излучаемая мощность не превышает 20 мВт, основные частоты – 31–39, 46–49, 9 МГц.

Для контроля уровней ЭМП используются расчетные и инструментальные методы. *Расчетные методы* применяют при оценке электромагнитной обстановки вблизи проектируемых, действующих, реконструируемых источников ЭМП. В соответствии с действующими ТНПА при разработке СЗЗ предприятий необходимо учитывать и электромагнитную составляющую.

Целью гигиенических расчетов ЭМП может быть определение:

- напряженности электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей или плотности потока энергии  $S$  в интересующей точке;

- необходимого коэффициента ослабления поля при неизменном геометрическом расположении источника и человека;
- необходимого безопасного расстояния, начиная с которого параметры ЭМП не превышают предельно допустимого уровня (ПДУ).

Мероприятия по защите биологических объектов от ЭМП подразделяют на организационные, инженерно-технические, медико-профилактические и лечебные.

К основным *организационным мероприятиям* относят:

- нормирование параметров электромагнитных воздействий;
- периодический контроль облучаемости;
- рациональное размещение источников и приемников излучения (территориальный разнос);
- ограничение времени пребывания в ЭМП;
- предупредительные надписи и знаки.

Например, при пользовании радиотелефоном рекомендуется:

- ограничивать время пользования (лучше использовать обычную проводную телефонную связь, а радиотелефон – только в экстренных случаях);
- пользоваться в незэкранированных помещениях и на открытых площадках;
- плотно обхватывать трубку рукой;
- попеременно прикладывать трубку к левому и правому уху;
- иметь зазор между ухом и трубкой (при хорошем качестве связи).

Для минимизации вредных воздействий питающих проводов и бытового электрооборудования в жилых домах необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- не находиться рядом с длинными проводами под напряжением;
- избегать свивания проводов в кольца, поскольку это увеличивает интенсивность излучения (эффект магнитного диполя);
- не оставлять вилку в розетке при выключенном приборе, поскольку в этом случае питающий провод становится дополнительным источником электрического поля;
- не размещать электроприборы в углах железобетонных комнат – в этом случае уровень излучения значительно возрастает («угловой отражатель»), это особенно относится к приборам, излучающим спектр частот: телевизорам, электронно-лучевым трубкам ПЭВМ.

Магнитные поля промышленной частоты могут быть ослаблены только толстостенными ферромагнитными экранами, что в бытовых условиях невозможно. В связи с этим рекомендуется пользоваться изделиями ведущих фирм-производителей (приборы излучают ЭМП существенно меньших интенсивностей), а также ограничивать по возможности время пребывания рядом со включенными приборами.

Экраны могут размещаться вблизи источника (кожухи, сетки), на трассе распространения (экранированные помещения, лесонасаждения), вблизи защищаемого человека (средства индивидуальной защиты – очки, фартуки, халаты).

К основным *инженерно-техническим мероприятиям* относятся уменьшение мощности излучения непосредственно в источнике и электромагнитное экранирование.

Иногда необходимо совместное применение организационных и технических мероприятий. Например, для снижения воздействия электростатических полей рекомендуется:

- использовать мониторы ПЭВМ с антистатическим покрытием экрана либо с заземленными защитными экранами-фильтрами;
- выдерживать расстояние до телевизора с диагональю экрана до 36 см не менее 1 м и не менее 2 м – до телевизора с диагональю экрана свыше 51 см;
- производить влажную уборку в жилых помещениях;
- использовать антистатические аэрозоли и бытовые ионизаторы воздуха.

*Медико-профилактические и лечебные мероприятия* предполагают:

- гигиенические и терапевтические мероприятия по лечению пострадавших от электромагнитного воздействия;
- предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в процессе трудовой деятельности) медицинские осмотры работников, подвергающихся воздействию ЭМП в условиях производства;
- распространение среди населения сведений о возможных биологических эффектах электромагнитных воздействий, действующих стандартах и методах защиты.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите основные принципы защиты атмосферного воздуха?
2. Дайте толкование терминов очистки, обеззараживания, обезвреживания и дезодорации газовоздушных выбросов.

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

3. Как определяется степень очистки газовоздушных выбросов?
4. Какие основные требования установлены к эксплуатации газоочистного оборудования?
5. Приведите классификацию пылеулавливающего оборудования и принцип его работы.
6. Какими методами и на каком оборудовании производится обезвреживание газовоздушных выбросов?
7. Как подразделяются внутригородские зеленые насаждения по функциональному назначению?
8. Какие факторы следует учитывать при проектировании санитарно-защитных зон предприятий?
9. Назовите важнейшие принципы защиты поверхностных вод.
10. Как зонироваются территории водных объектов и какие требования установлены для водоохраных зон и зон санитарной охраны?
11. Приведите классификацию методов обработки воды.
12. Охарактеризуйте основные методы очистки воды.
13. Что такое биологическая очистка сточных вод и какие существуют ее методы?
14. Какие известны методы обработки осадков сточных вод?
15. Что такое защита почв от деградации и истощения?
16. Какой установлен порядок обращения с отходами производства и потребления?
17. Перечислите основные требования по охране и защите недр.
18. Что представляет собой рекультивация использованных земель?
19. Приведите классификацию основных средств и методов защиты от шума.
20. Охарактеризуйте методы снижения шума в городах.
21. Объясните биологические эффекты электромагнитного воздействия.
22. Какие существуют средства защиты от воздействия электромагнитных полей?
23. Перечислите защитные мероприятия от воздействия ЭМП.
24. Охарактеризуйте проблемы и назовите методы и приемы утилизации наиболее многотоннажных отходов.

Вернуться в каталог учебников  
<http://учебники.информ2000.рф/uchebники.shtml>

## ГЛАВА 10

# ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

---

### 10.1. Основные направления и принципы государственной политики в области охраны окружающей среды

В Республике Беларусь основным направлением государственной политики в области охраны окружающей среды является осуществление прав граждан республики на благоприятную для жизнедеятельности среду обитания, прав будущих поколений на пользование природно-ресурсным потенциалом без снижения комфортности существования и права на компенсацию ущерба, нанесенного здоровью или имуществу граждан в результате изменения качества окружающей среды. Документом, обеспечивающим права граждан на безопасную среду обитания, является Конституция Республики Беларусь (ст. 34, 44–46, 55).

*Основные направления* государственной экологической политики определены Концепцией государственной политики Республики Беларусь в области охраны окружающей среды, утвержденной Верховным Советом Республики Беларусь 06.09.1995 г., Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (НСУР-2020), Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2020 г., Водной стратегией Республики Беларусь на период до 2020 г., Национальным планом выполнения обязательств, принятых Республикой Беларусь по реализации положений Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, в 2011–2015 гг., закреплены в законе «Об охране окружающей среды» и других законодательных актах. Кроме того, в Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь №575 от 09.11.2010 г. основными национальными интересами в экологической сфере являются:

- обеспечение экологически благоприятных условий жизнедеятельности граждан;

- преодоление негативных последствий радиоактивного загрязнения территории страны и иных чрезвычайных ситуаций, реабилитация экологически нарушенных территорий;
- устойчивое природно-ресурсное обеспечение социально-экономического развития страны;
- рациональное использование природно-ресурсного потенциала, сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, экологического равновесия природных систем;
- содействие поддержанию глобального и регионального экологического равновесия.

**Основные источники угроз** национальной безопасности страны заключаются в следующем:

- радиоактивное, химическое и биологическое загрязнение почв, земель, вод, недр, растительности и атмосферы;
- высокая концентрация на территории республики экологически опасных объектов, их размещение вблизи жилых зон и систем жизнеобеспечения;
- образование больших объемов отходов производства и потребления при низкой степени их вторичного использования, повышенные уровни выбросов и сбросов загрязняющих веществ;
- деградация земель, лесов и природных комплексов, истощение минерально-сырьевых, водных и биологических ресурсов;
- недостаточное развитие правовых и экономических механизмов обеспечения экологической безопасности, систем учета природных ресурсов, мониторинга чрезвычайных ситуаций и качества окружающей среды;
- глобальное изменение окружающей природной среды, трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию страны;
- размещение вблизи границ крупных экологически опасных объектов, захоронение ядерных отходов на сопредельных территориях.

**Основополагающими принципами** государственной политики в области охраны окружающей среды являются:

- государственная собственность на все виды природных ресурсов, которая предусматривает возможность передачи их в соответствии с существующим законодательством в постоянное либо временное пользование отдельным юридическим и физическим лицам. Однако земля как особый вид природных ресурсов может находиться как в государственной, так и в частной собственности;

- охрана окружающей среды, объектов живой и неживой природы на всей территории республики в сочетании с созданием системы особо охраняемых территорий, полностью либо частично выведенных из хозяйственного оборота в природоохранных целях;

- законодательно обеспеченная, финансируемая из государственного бюджета система государственного контроля за состоянием окружающей среды, охраной и использованием природных ресурсов, качеством продуктов питания, безопасностью промышленной и сельскохозяйственной продукции для окружающей среды и здоровья населения с обязательным разделением по всем звеньям системы контрольных и природопользовательских функций;

- законодательно обеспеченная система государственной экологической экспертизы проектируемых, строящихся и действующих хозяйственных объектов, подтвержденная экономической и правовой ответственностью за невыполнение ее требований или игнорирование ее проведения;

- привлечение к делу охраны окружающей среды и контроля за ее состоянием широких слоев населения, общественных организаций и движений; поддержка на государственном уровне общественных организаций и движений, занимающихся проблемами охраны живой и неживой природы, здоровья человека и качества окружающей среды;

- экономический механизм обеспечения охраны окружающей среды;

- система мер уголовной и административной ответственности за нарушение природоохранного законодательства при условии обязательного возмещения ущерба, нанесенного здоровью граждан или их имуществу за счет нарушителя;

- совершенствование законодательной базы, системы возмещения потерь виновными в загрязнении окружающей среды на внутрисоюзном и международном уровнях;

- участие в решении глобальных экологических проблем.

Кроме того, широко практикуются разработка и реализация программ и комплексных проектов по решению конкретных задач охраны окружающей среды (развитие сети особо охраняемых природных территорий, защита населения от последствий катастрофы на ЧАЭС, программы «Здоровье», «Энергосбережение», «Ресурсосбережение» и др.).

## 10.2. Национальная стратегия устойчивого развития страны

В настоящее время человечество столкнулось с противоречиями между растущими потребностями мирового сообщества и невозможностью биосферы их обеспечить. Богатства природы, ее способность поддерживать развитие общества и возможности ее самовосстановления оказались небезграничными. Возросшая мощь экономики стала разрушительной силой для биосферы и человека. Возникла реальная угроза жизненно важным интересам будущих поколений человечества. Например, согласно многочисленным компьютерным моделям развития общества, разведанных энергоресурсов человечеству хватит не более чем на 110–120 лет.

За последние 100 лет в масштабах всей планеты постепенно сформировалось понимание, что уже сейчас настало время коренным образом изменять свое отношение к биосфере, ее ресурсам, а также начинать борьбу за их сохранение и восстановление. В противном случае человек как биологический вид может просто исчезнуть с лица земли.

Выход из сложившегося положения возможен только в рамках устойчивого (стабильного) социально-экономического развития, восстанавливающего естественные экосистемы до уровней, гарантирующих их стабильность.

Под *устойчивым развитием* следует понимать глобально управляемое развитие всего мирового сообщества с целью сохранения биосферы и существования человечества, его непрерывного совершенствования. Устойчивым может быть только мировое сообщество в целом, ибо биосфера и ноосфера – единый организм планеты Земля.

Устойчивое развитие – это такое развитие, при котором удовлетворение нужд нынешнего поколения происходит без ущемления возможностей будущих поколений удовлетворять свои потребности. В социально устойчивом обществе запасы капитала, уровень технологий и численность населения должны обеспечивать достаточный и гарантированный материальный уровень жизни для всех.

Мировым сообществом разработаны программные международные документы, которые должны обеспечить устойчивость глобального социально-экономического развития и сохранения качеств окружающей среды, ее ресурсов. Это пре-



жде всего программа «Повестка дня на XXI век» (Рио-де-Жанейро, 1992), а также ряд конвенций и протоколов по защите и охране окружающей среды.

Научным комитетом по проблемам окружающей среды (SCOPE) предложено 134 индикатора устойчивого развития для систем разного уровня (от отраслевого до глобального) по четырем основным группам:

- индикаторы социальных аспектов устойчивого развития;
- индикаторы его экономических аспектов;
- индикаторы экологические;
- индикаторы институциональные, которые включают в себя

вопросы программирования и планирования политики в области устойчивого развития, научные разработки, информационное обеспечение, а также характеристики вовлеченности в этот процесс основных групп населения (Indicators of Sustainable Development, 1966).

Показано, что индексом устойчивого развития может служить *оценка материальных (физических) потоков* в отдельных странах. Экономическое и экологическое благополучие любой страны напрямую связано с такого рода потоками, их сокращение путем внедрения ресурсосберегающих мало- и безотходных технологий является решением локальных и, в дальнейшем, глобальных экологических проблем.

Одна из первых оценок материальных потоков была проведена в 1991 г. в Германии в рамках проекта определения индикаторов устойчивого развития. На основании определения общего баланса потребления веществ было установлено, что на каждого жителя страны за год пришлось 75 т сырья и продуктов, 56 т из них составили прямые отходы и 19 т – материальные объекты, включающие отложенные отходы, которые будут удалены из оборота через какое-то обозримое время.

Около 75% потока материалов в стране пришлось на импорт, что составило 433 млн т, которые, в свою очередь, в странах-экспортерах уже образовали 2,1 млрд т отходов и обеспечили там нарушение и деградацию почв (полигоны, свалки, поля фильтрации и пр.), эквивалентную 304 млн т веществ. Местный поток веществ включал 3,99 млрд т абиотического сырья и 82 млн т по сухому веществу биотического.

Из абиотического сырья (минералы, металлические руды и энергоносители) после использования образовалось 2,89 млрд т твердых отходов. Из них 222 млн т поступило

на контролируемые свалки, а 2,7 млрд т было захоронено в шахтах или в земле. При этом в атмосферу было выброшено за год 1,6 млрд т парниковых газов и других поллютантов со сточными водами – 34 млн т загрязняющих веществ.

Таким образом выяснилось, что экономика Германии за 1 год вещественно прирастает почти на 1 млрд т в основном за счет материалов, использующихся на строительство дорог, зданий, машин и механизмов, а объем перемещаемого вещества на одного жителя в 1,5 раза превышает среднемировой – 50 т. Этот материальный физический рост поступления вещества и энергии неуклонно сокращает природное пространство сохранившихся экосистем, сельскохозяйственные угодья, облесенную территорию. Кроме того, Германия оказывала в изучаемом периоде существенное давление на окружающую среду соседних стран, составляющую порядка 70% от такового в собственной. Следует отметить, что оценка материальных потоков является процедурой достаточно сложной, так как требует учета большого количества данных и дает относительные цифры.

Более универсальным считается такой агрегированный индикатор устойчивого развития, как *потребление энергии*, или *расход энергетической мощности на единицу территории*. В этом случае давление человека на природу характеризуется вложением энергии на единицу площади освоенной территории.

В рамках *теории биотической регуляции* отдается приоритет экологическим индикаторам в соответствии с их научно обоснованной значимостью. К ним относятся индикаторы естественных экосистем и индикаторы потребления чистой первичной продукции.

*Индикаторы естественных экосистем* отражают:

- долю фактической площади, занимаемой ими на территории региона (страны);
- долю территории, которую должны занимать естественные экосистемы в интересах поддержания регуляции и стабилизации окружающей среды;
- темпы сокращения либо восстановления естественных экосистем на данной территории.

Эти показатели в полной мере характеризуют как текущую экологическую ситуацию на наблюдаемой территории, так и направление происходящих изменений, т.е. степень прибли-

жения той или иной территории (страны) к состоянию экологической устойчивости.

*Индикаторы потребления чистой первичной продукции* дают представление:

- о существующем на момент оценки состоянии территории;
- отношении фактического потребления чистой первичной продукции к допустимому ее пределу;
- возможных и (или) необходимых темпах и векторе изменений в том или ином временном интервале.

*Показатель потребления чистой первичной продукции* на данной территории дает представление о масштабах вторжения в естественные экосистемы (колонизации природных систем).

Потребление чистой первичной продукции возможно в двух вариантах:

- непосредственное изъятие (пища, сырье, материалы и пр.) из природной среды;
- снижение ее производства вследствие вытеснения естественной биоты (замена естественных экосистем искусственными, строительство дорог, зданий и сооружений, образование пустырей, пустошей, другие трансформации).

Количественные характеристики чистой первичной продукции, как говорилось ранее, выражаются в единицах массы органического углерода (г, кг, т), мощности (Вт) или энергии (Дж), адекватных объему биомассы, произведенной растениями на данной территории за единицу времени (час, месяц, год) без учета затрат на дыхание и рост растений.

В 1991 г. была проведена оценка потребления чистой первичной продукции в Австрии. Общая естественная энергия наземной растительности на территории страны составила 1,501 ПДж/год, а ее расход по отдельным статьям распределился следующим образом:

- изъятие земель под строительство – 7%;
- изъятие земель для сельскохозяйственного использования – 21%;
- изъятие земель под агролесохозяйство – 14%.

Таким образом, в результате исследований разных видов потребления чистой продукции в Австрии за год было изъято 42% чистой первичной продукции, из них 21% – путем перевода непосредственно в антропогенный канал. Среднемировой уровень изъятия чистой первичной продукции составляет 40%.

Группы экологических индикаторов (индикаторы естественных экосистем и индикаторы потребления чистой первичной продукции) включают в себя ряд таких важнейших показателей состояния окружающей среды, как уязвимость экосистемы, уровень биоразнообразия, степень антропогенной нагрузки, степень использования земель и ландшафтов и др. На современном уровне имеющихся данных они обеспечивают интегрированный подход к планированию и управлению земельными, растительными, минеральными, иными ресурсами с целью вовлечения их в хозяйственную деятельность.

Следующее по приоритету место теории биотической регуляции отводит *индикаторам эффективного использования природных ресурсов*, которые учитываются при определении степени антропогенного давления на естественные экосистемы. С их помощью определяются масштабы и глубина *ресурсных и экологических кризисов* всех уровней. Показано, что последние 100–150 лет цивилизация успешно развивается в условиях полномасштабного экологического кризиса, в который она вступила задолго до достижения каких-либо ресурсных пределов (В.Г. Горшков, 1995). В современном мире все сигналы о глобализации существующего экологического кризиса практически не воспринимаются на уровне массового сознания (социума) или интерпретируются в узких рамках и терминах истощения ресурсов. Причем преодоление ресурсного торможения технического прогресса и экономического развития предлагается путем использования альтернативных веществ (материалов) и энергии, т.е. вовлечения в интенсификацию потребления новых объектов.

Существенной группой индикаторов устойчивого развития в теории биотической регуляции также являются *институциональные индикаторы*, прежде всего компьютерные географические информационные системы (ГИС). Индикаторы на основе ГИС позволяют отразить как пространственный, так и временной аспекты изменения окружающей среды. Уже разработаны и постоянно обновляются карты сокращения территорий с ненарушенными экосистемами, пространственного распределения таких важнейших показателей, как плотность и прирост населения, коэффициент рождаемости, производительности агроценозов и пр. Разработано программное обеспечение Mapinfo, включенное в MS Excel 7.0.

Из этого краткого описания использования индикаторов устойчивого развития для оценки воздействий на окружающую среду следует, что необходимы дальнейшая разработка теоретической базы и накопление фактических данных по всем аспектам хозяйственной и иной деятельности.

Необходимость устойчивого развития актуальна и для нашей республики, экономика которой долгое время являлась составной частью экономики бывшего СССР, имела и имеет чрезвычайно высокую зависимость от поставок энергоносителей, сырья и иных жизненно важных производственных ресурсов из других стран, и прежде всего из России.

Большая роль в государственной политике в области охраны окружающей среды отводится формированию целостной системы планирования соответствующих мероприятий.

Наиболее масштабным документом в этом плане на сегодняшний день является Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (НСУР-2020), разработанная в соответствии с Законом Республики Беларусь «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Республики Беларусь».

Впервые НСУР Республики Беларусь была разработана и одобрена Правительством страны в 1997 г. (НСУР-97). Она основывалась на идейных принципах и методологических подходах программы «Повестка дня на XXI век», определенных Конференцией ООН по окружающей среде и развитию.

В НСУР-2020 учтены изменения, произошедшие в стране и мире за последние годы, а также важнейшие программные документы, принятые в Беларуси, новые международные соглашения, в том числе Декларация тысячелетия ООН, принятая Генеральной Ассамблеей 08.09.2000 г., Политическая декларация и План выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию в Йоханнесбурге (2002) и др.

Дальнейшее развитие в НСУР-2020 получили основные положения действующих прогнозных документов, таких как Комплексный прогноз научно-технического прогресса на 2001–2020 гг., Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на 1998–2015 гг., Программа структурной перестройки и повышения конкурентоспособности экономики Республики Беларусь, Концепция национальной безопасности Республики Беларусь и других государственных целевых и отраслевых программ.

В НСУР-2020 большое внимание уделено особенностям прогнозного периода, дальнейшей реализации программы «Повестка дня на XXI век», гармонизации социального, экономического и экологического развития как равноценных взаимодополняющих составляющих в едином сбалансированном комплексе *человек – окружающая среда – экономика*.

Учитывая опыт реализации НСУР-97, программы «Повестка дня на XXI век», итоговых документов Всемирного саммита в Йоханнесбурге, национальная стратегия устойчивого развития строится на следующих *принципах*:

- человек – цель прогресса; уровень человеческого развития – мера зрелости общества, государства, его социально-экономической политики;
- повышение уровня благосостояния нации, преодоление бедности, изменение структур потребления;
- приоритетное развитие систем здравоохранения, образования, науки, культуры – важнейших сфер духовной жизни общества, факторов долгосрочного роста производительной, творческой активности народа, эволюции народного хозяйства;
- улучшение демографической ситуации, содействие устойчивому развитию поселений;
- переход на природоохранный, ресурсосберегающий, инновационный тип развития экономики;
- усиление взаимосвязи экономики и экологии, формирование эколого-ориентированной экономической системы, развитие ее в пределах хозяйственной емкости экосистем;
- рациональное природопользование, предполагающее нерасточительное расходование возобновляемых и максимально возможное уменьшение потребления невозобновляемых ресурсов, расширение использования вторичных ресурсов, безопасную утилизацию отходов;
- развитие международного сотрудничества и социального партнерства в целях сохранения, защиты и восстановления экосистем;
- экологизация мировоззрения человека, систем образования, воспитания, морали с учетом новых цивилизационных ценностей;
- ведущая роль государства в осуществлении целей и задач устойчивого развития, совершенствование систем управления, политических механизмов принятия и реализации решений;

- повышение скоординированности и эффективности деятельности государства, частного бизнеса и гражданского общества.

Указанные принципы служат идейными ориентирами, методологическим каркасом построения НСУР-2020 и ее разделов.

Реализация принципов устойчивого развития в локальном, региональном и планетарном масштабах неразрывно связана с пересмотром ценностей и целей развития (существующих приоритетов развития). При этом важнейшими неизбежно станут те из них, которые обеспечивают экологическую и социальную устойчивость (см. гл. 4). В первую очередь это касается уровней и темпов экономического развития. Экономика формирует всю сумму материальных условий существования человечества, но их реализация истощает и разрушает биосферу.

Мировая экономика только тогда перестанет быть фактором глобальной дестабилизации окружающей среды, когда впишется в тот энергетический коридор, который определен законом распределения энергетических потоков в биосфере, или *хозяйственной емкостью биосферы*. Если условно рассматривать хозяйственную емкость биосферы как глобальный экологический ресурс, то человечество более 100 лет назад уже превысило лимит его потребления (В.Г. Горшков, 1990). В связи с этим для дальнейшего существования мировой и региональных экономик необходимо подчинить их развитие возможностям хозяйственной емкости биосферы, что выражается в максимальном сокращении вещества (живого, косного, искусственного) и энергии (естественной и трансформированной). Основная проблема перехода к реализации принципов устойчивого развития как раз и состоит в противодействии большинства социума каким-либо ограничениям потребительских запросов, комфорта существования, доступности благ цивилизации.

Особенностями развития цивилизации в конце XX в. стали обострение и взаимовлияние политических, социально-экономических, юридическо-правовых, научно-технических, демографических, экологических, материально-сырьевых и топливных проблем. В этой связи формируются принципиально новые требования к ученым, инженерам, проектировщикам, эксплуатационникам и другим специалистам. Приоритетной характеристикой любого члена профессионального сообщества становятся широта кругозора и диапазон знаний. Это предполагает, что наряду с базовыми инженерно-техниче-



скими знаниями специалист должен обладать определенной квалификацией в области экологии, социологии, законодательства и права, маркетинга и менеджмента, информатики и др.

Устойчивое развитие современной цивилизации теснейшим образом связано с морально-нравственными и этическими вопросами жизнедеятельности не только всего социума, но и научно-инженерного сообщества. Проблема ответственности и выбора ученого, конструктора, инженера, технического работника становится одним из основных понятий *экологического императива*. В ряде стран (Швеция, Германия, Япония и др.) уже принят и введен в действие «Этический кодекс инженера». Его основное назначение состоит в недопущении замены *нравственного императива* на *научно-технический*. Моральные проблемы научного и технического творчества многогранны, они включают такие аспекты, как тотальная ответственность и всеобщая (коллективная) безответственность, коллективная и индивидуальная ответственность, юридический и моральный долг, сиюминутная прибыль и отдаленные отрицательные последствия, общественно-государственные запреты и индивидуальные (личностные) табу и т.д. Эти вопросы являются предметом изучения социальной экологии, но, к сожалению, по большей части носят академический характер и не внедряются в практику.

Морально-нравственный аспект проблемы устойчивого развития базируется на требованиях меры и достаточности. На фоне индивидуального стремления к максимальному комфорту проживания концепция устойчивого развития системы природа – общество – человек требует от индивида максимального сокращения своих потребностей, мотивируя это какими-то возможными отдаленными негативными последствиями для будущих поколений. В связи с этим основная часть социума реагирует на сигналы о гибели среды обитания следующим образом:

- скрываются или отрицаются эти сигналы;
- успокаивают себя тем, что время кризиса как бы отодвигается с помощью технических мер (мероприятия, системы, программы, законы защиты и охраны окружающей среды), не пытаясь воздействовать на саму причину.

Основной задачей реализации программы устойчивого развития системы природа – общество – человек с целью ее сохранения является планомерное изменение общественного



сознания и экологизация всех аспектов материальной и духовно-нравственной культуры.

Переход к устойчивому развитию потребует скоординированных действий во всех сферах жизни общества, адекватной переориентации социальных, экономических и экологических институтов государства, регулирующая роль которого в таких преобразованиях будет определяющей.

### **10.3. Государственное управление и контроль в области охраны окружающей среды**

*Государственное управление* в области охраны окружающей среды осуществляется Президентом Республики Беларусь, Советом Министров Республики Беларусь, Минприроды и его территориальными органами, иными специально уполномоченными республиканскими органами государственного управления и их территориальными органами, местными Советами депутатов, исполнительными и распорядительными органами в пределах их компетенции.

Президент Республики Беларусь, являясь Главой государства, на основе и в соответствии с Конституцией Республики Беларусь издает декреты, указы, распоряжения по вопросам охраны окружающей среды, имеющие обязательную силу на всей территории страны. Непосредственно или через создаваемые им органы осуществляет контроль за соблюдением природоохранного законодательства.

Правительство – Совет Министров Республики Беларусь – осуществляет исполнительную власть в стране, реализует государственную экологическую политику, разработку и исполнение государственных экологических программ и крупных природоохранных мероприятий, координирует деятельность в области охраны окружающей среды и природопользования министерств и иных республиканских органов государственного управления, осуществляет международное сотрудничество в этой области.

Местные исполнительные и распорядительные органы – областные, районные, городские, поселковые, сельские исполнительные комитеты – несут ответственность за состояние окружающей среды на соответствующих территориях, выполнение государственных экологических программ и иных природоохранных мероприятий, разрабатывают и утверждают

местные программы охраны природы, организуют их выполнение, обеспечивают их материально-техническое снабжение.

Все вышеперечисленные институты относятся к органам управления общей компетенции.

Иными специально уполномоченными государственными органами управления (органы специальной компетенции) в рамках своего направления деятельности являются:

- Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь;
- Министерство здравоохранения Республики Беларусь (далее – Минздрав);
- Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (далее – МЧС);
- Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь;
- Министерство внутренних дел Республики Беларусь;
- Управление делами Президента Республики Беларусь;
- Государственный таможенный комитет Республики Беларусь;
- Департамент по гидрометеорологии Минприроды;
- Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь.

Республиканским органом государственного управления и контроля является Минприроды. Главные его задачи определены Положением о министерстве:

- разработка и проведение единой государственной политики в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов;
- комплексное управление природоохранной деятельностью в стране, координация работы в этом направлении других республиканских органов государственного управления и юридических лиц;
- организация государственного контроля в области охраны окружающей среды и природопользования;
- осуществление международного сотрудничества и др.

**Контроль** является важнейшей правовой мерой обеспечения рационального использования природных ресурсов; выполняет предупредительную, информационную и карательную функции. **Задачи** контроля включают выявление, пресечение и предупреждение нарушений норм экологической безопасности и охраны окружающей среды, совершенных физическими и юридическими лицами.

В области охраны окружающей среды различают государственный, ведомственный, производственный и общественный контроль.

*Государственный контроль* осуществляется Министерством природы, а также вышеуказанными специально уполномоченными органами, наделенными правами государственного контроля.

*Ведомственный контроль* осуществляется органами государственного управления либо организациями в целях проверки соблюдения подчиненными им юридическими лицами экологического законодательства, выполнения отраслевых программ и мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также исполнения предписаний Минприроды и других органов.

*Производственный контроль* должны осуществлять все юридические лица и индивидуальные предприниматели, если их хозяйственная и иная деятельность оказывает воздействие на окружающую среду.

*Общественный контроль* производится общественными инспекторами охраны природы, общественными объединениями, осуществляющими свою деятельность в области охраны окружающей среды, а также гражданами в соответствии с законодательством Республики Беларусь. Возможность участия общественности в принятии экологически значимых решений закреплена на международно-правовом уровне Орхусской конвенцией (1998) о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь № 726 от 14.12.1999 г. При этом понятие «общественность» Орхусская конвенция определяет как «одно или более чем одно физическое или юридическое лицо». Таким образом, граждане могут осуществлять общественный контроль в области охраны окружающей среды как единолично, так и путем объединения группы лиц без специальной регистрации и обретения правосубъектности.

*Аналитический (лабораторный) контроль* является составной частью всех видов контроля. Он проводится для оценки количественных и качественных характеристик выбросов в атмосферный воздух и сбросов в поверхностные и подземные воды загрязняющих веществ, а также загрязнения земель (включая почвы) и состава отходов.

Аналитический контроль, который проводится в рамках государственного контроля, является государственным аналитическим контролем. Как правило, он проводится Минприроды и его территориальными органами.

Ведомственный аналитический контроль осуществляется министерствами, ведомствами, объединениями за счет собственных средств.

Производственный аналитический контроль осуществляется юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями самостоятельно также за счет собственных средств.

Общий государственный надзор за соблюдением законодательства осуществляется Прокуратурой Республики Беларусь. Споры, возникающие при рассмотрении дел по нарушению законодательства, разрешаются судами в установленном законодательством порядке.

## **10.4. Правовые акты по природопользованию и охране окружающей среды**

### **10.4.1. Основные положения законодательства**

Задачами законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды являются: обеспечение безопасного для жизни и здоровья людей состояния окружающей среды; предотвращение вредного воздействия на окружающую среду хозяйственной или иной деятельности; регулирование отношений в области охраны, использования и воспроизводства природных ресурсов; сохранение природных ресурсов, генетического фонда живой природы; охрана естественных богатств, природного окружения, ландшафтов и других природных комплексов.

Законодательство в области охраны окружающей среды определяет права и обязанности организаций, учреждений, общественных объединений и граждан по обеспечению условий безопасного проживания на территории республики, а также гарантии государства прав граждан на здоровую и благоприятную для жизни окружающую среду; компетенцию специально уполномоченных государственных и иных органов в области охраны окружающей среды; лимиты на пользование природными ресурсами; платежи за пользование природными ресурсами; экологические требования к хозяйственной и иной дея-

тельности; особенности контроля и надзора в области охраны окружающей среды, а также ответственность природопользователей за нарушение природоохранного законодательства.

Объектами природы, подлежащими охране, являются как вовлеченные, так и неиспользуемые напрямую, либо в данный период времени, виды природных ресурсов, к которым относятся: климатические ресурсы, атмосфера (включая озоновый слой); земля и ее недра, почва; воды (поверхностные, подземные, почвенная влага); растительный и животный мир в их видовом разнообразии во всех сферах обитания и произрастания; типичные и редкие ландшафты, а также иные природные объекты как компоненты экологических систем в биосфере.

Учитывая сложность экологического законодательства, а также большое количество других действующих в этой области нормативных документов, необходимо четко представлять систему нормативно-правового обеспечения охраны окружающей среды. Это может быть особенно важным при рассмотрении экологических проступков в судебных органах.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О нормативных правовых актах Республики Беларусь» к **нормативным правовым актам** (НПА) относятся официальные документы установленной формы, содержащие общеобязательные правила поведения, рассчитанные на неопределенный круг лиц и неоднократное применение. Все действующие НПА приведены в единую систему, характеризующуюся внутренней согласованностью и обеспечивающую правовое регулирование общественных отношений путем определения их иерархии. Основой иерархии во всей системе законодательства является юридическая сила НПА.

В Беларуси определена следующая иерархия НПА:

- Конституция Республики Беларусь – Основной Закон Республики Беларусь, имеющий высшую юридическую силу и закрепляющий основополагающие принципы и нормы правового регулирования важнейших общественных отношений;
- Решение референдума – НПА, регулирующий важнейшие вопросы государственной и общественной жизни, принятый республиканским или местным референдумом;
- Кодекс Республики Беларусь (кодифицированный НПА) – закон, обеспечивающий полное системное регулирование определенной области общественных отношений;
- Закон Республики Беларусь – НПА, закрепляющий принципы и нормы регулирования наиболее важных общественных отношений;

- Декрет Президента Республики Беларусь – НПА Главы государства, имеющий силу закона, издаваемый в соответствии с Конституцией Республики Беларусь на основании делегированных ему Парламентом законодательных полномочий либо в случаях особой необходимости (временный декрет) для регулирования наиболее важных общественных отношений;

- Указ Президента Республики Беларусь – НПА Главы государства, издаваемый в целях реализации его полномочий и устанавливающий (изменяющий, отменяющий) определенные правовые нормы;

- Директива Президента Республики Беларусь – указ программного характера, издаваемый Главой государства в целях системного решения вопросов, имеющих приоритетное политическое, социальное и экономическое значение;

- Постановления палат Парламента (Национального собрания Республики Беларусь) – НПА, принимаемые палатами Парламента (Национального собрания Республики Беларусь) в случаях, предусмотренных Конституцией Республики Беларусь;

- Постановление Совета Министров Республики Беларусь – НПА Правительства Республики Беларусь;

Акты Конституционного Суда Республики Беларусь, Верховного Суда Республики Беларусь (постановления Пленума Верховного Суда Республики Беларусь), Высшего Хозяйственного Суда Республики Беларусь (постановления Пленума Высшего Хозяйственного Суда Республики Беларусь), Генерального прокурора Республики Беларусь и других государственных органов управления – это НПА, принимаемые в пределах их компетенции по регулированию общественных отношений, установленной Конституцией Республики Беларусь.

Следует иметь в виду, что НПА вышестоящего государственного органа (должностного лица) имеет большую юридическую силу по отношению к НПА нижестоящего государственного органа (должностного лица).

Вновь принятый НПА обладает большей юридической силой по отношению к ранее принятому (изданному) по тому же вопросу НПА того же государственного органа (должностного лица).

Конституция Республики Беларусь обладает высшей юридической силой. Законы, декреты, указы и иные акты государственных органов (должностных лиц) принимаются (издаются) на основе и в соответствии с Конституцией Республики

Беларусь. В случае расхождения закона, декрета, указа или иного НПА с Конституцией Республики Беларусь действует Конституция Республики Беларусь.

Основу законодательства Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и природопользования составляют:

- Конституция Республики Беларусь (ст. 34, 46, 55);
- кодексы Республики Беларусь – о земле, недрах, водный, лесной и др.;

- законы Республики Беларусь – «Об охране окружающей среды», «Об охране атмосферного воздуха», «О государственной экологической экспертизе», «Об обращении с отходами», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «О животном мире», «О возобновляемых источниках энергии», «О гидрометеорологической деятельности», «О растительном мире», «Об охране озонового слоя», «Об особо охраняемых природных территориях и объектах», «Об отходах», «О питьевом водоснабжении», «Об оценке соответствия требованиям технических нормативных актов в области технического нормирования и стандартизации», «О техническом нормировании и стандартизации», «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «О радиационной безопасности населения», «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», «О здравоохранении», «О предприятиях» и др.;

- Декреты и Указы Президента Республики Беларусь – Указы Президента Республики Беларусь «О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде» № 348 от 24.06.2008 г. с изменениями № 618 от 03.12.2010 г., а также № 349 от 24.06.2008 г. «О критериях отнесения хозяйственной и иной деятельности, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, к экологически опасной деятельности», «О комплексных природоохранных разрешениях» № 528 от 17.11.2011 г. и др.

Предотвращение чрезвычайных ситуаций на территории страны регулируют законы «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «О перевозке опасных грузов».

Правовой основой организации работ по охране окружающей среды в стране является Конституция Республики Беларусь (ст. 46), которая гарантирует право граждан на благопри-



ятную окружающую среду и на возмещение вреда, причиненного нарушением этого права. В соответствии с этой же статьей государство осуществляет контроль за рациональным использованием природных ресурсов в целях защиты и улучшения условий жизни, а также охраны и восстановления окружающей среды. В ст. 55 декларируется, что охрана природной среды – долг каждого.

Систему экологического законодательства консолидирует Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», в ст. 3 которого определены основные задачи законодательства Республики Беларусь в этой области:

- обеспечение благоприятной окружающей среды;
- регулирование отношений в области охраны природных ресурсов, их использования и воспроизводства;
- предотвращение вредного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности;
- улучшение качества окружающей среды;
- обеспечение рационального использования природных ресурсов и др.

Кроме того, Беларусь является участницей более 20 международных конвенций в области охраны окружающей среды. За последнее десятилетие ею заключено более 40 международных двусторонних и многосторонних договоров.

#### 10.4.2. Технические нормативные правовые акты

Конкретные нормы экологической безопасности регламентируются *техническими нормативными правовыми актами* (ТНПА), к которым относятся: технические регламенты; технические кодексы установившейся практики; стандарты, в том числе государственные стандарты Республики Беларусь; стандарты организаций; технические условия; авиационные правила; зоогигиенические, ветеринарные, ветеринарно-санитарные нормы и правила; санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы; государственные классификаторы технико-экономической информации; формы государственных статистических наблюдений и указания по их заполнению и другие документы, утвержденные в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

К специальным ТНПА в области природопользования и охраны окружающей среды относятся технические регламенты (ТР), технические кодексы установившейся практики (ТКП),



государственные, межгосударственные и международные стандарты, строительные нормы и правила (СНиП), строительные нормы Республики Беларусь (СНБ), санитарные правила и нормы (СанПиН), гигиенические нормативы (ГН), руководящие документы (РД), республиканские допустимые уровни (РДУ), правила, инструкции и др.

*Технический регламент* – это ТНПА, устанавливающий непосредственно и (или) путем ссылки на ТКП или государственные стандарты Республики Беларусь обязательные для соблюдения технические требования, связанные с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, а также утилизации или оказания услуг. Таким образом, ТР определяет требования безопасности ко всему жизненному циклу продукции.

*Технический кодекс установившейся практики* представляет собой ТНПА, содержащий основанные на результатах установившейся практики технические требования к процессам разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказанию услуг. В настоящее время в Беларуси действует более сотни ТКП, регламентирующих различные вопросы в области охраны окружающей среды.

*Стандарт* – это ТНПА, разработанный в процессе стандартизации на основе согласия большинства заинтересованных субъектов технического нормирования и стандартизации и содержащий технические требования к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказанию услуг.

Основные требования в области охраны окружающей среды и природопользования разработаны в специальной системе стандартов Республики Беларусь, которая представляет собой комплекс взаимосвязанных стандартов, направленных на охрану окружающей среды, сохранение, восстановление и рациональное использования природных ресурсов.

По уровню принятия документов в области охраны окружающей среды их условно можно разделить на международные, государственные (межотраслевые), отраслевые (ведомственные) и локальные.

К *локальным* ТНПА относятся документы в области охраны окружающей среды, разработанные непосредственно природопользователями – предприятиями и организациями (доку-

ментация системы управления окружающей средой, экологические паспорта предприятий, инструкции по производственному контролю в области охраны окружающей среды, инструкции по обращению с отходами и др.).

## **10.5. Права и обязанности природопользователей по охране окружающей среды**

Права и обязанности природопользователей установлены Конституцией Республики Беларусь, Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», Водным кодексом Республики Беларусь, законами Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха», «Об обращении с отходами», другими законами и ТНПА.

В ст. 12 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» установлены основные права и обязанности граждан в области охраны окружающей среды. Каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду и на возмещение вреда, причиненного нарушением этого права, а также на получение, хранение и распространение полной, достоверной и своевременной информации о состоянии окружающей среды.

*Граждане имеют право:*

- создавать в соответствии с законодательством Республики Беларусь общественные объединения, осуществляющие свою деятельность в области охраны окружающей среды, и общественные фонды охраны природы;
- обращаться в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь, в органы государственного управления, иные организации и к должностным лицам для получения полной, достоверной и своевременной информации о состоянии окружающей среды и мерах по ее охране;
- принимать участие в подготовке и обсуждении материалов по оценке воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности;
- вносить предложения о проведении общественной экологической экспертизы и участвовать в ее проведении в порядке, установленном законодательством Беларуси;
- оказывать содействие государственным органам в решении вопросов охраны окружающей среды;

- осуществлять общественный контроль в области охраны окружающей среды;
- обращаться в государственные органы с жалобами, заявлениями и предложениями по вопросам, касающимся охраны окружающей среды, вредного воздействия на окружающую среду, и получать своевременные и обоснованные ответы;
- предъявлять в суд иски о возмещении вреда, причиненного их жизни, здоровью, имуществу в результате вредного воздействия на окружающую среду.

Право на благоприятную окружающую среду принадлежит гражданину от рождения и подлежит защите как личное имущественное право, не связанное с имущественным, в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь. Моральный вред, причиненный гражданину нарушением его права на благоприятную окружающую среду, подлежит компенсации в соответствии с законодательством.

К *обязанностям граждан* относятся:

- соблюдение законодательства Беларуси об охране окружающей среды;
- повышение экологической культуры, содействие воспитанию подрастающего поколения в этой области;
- бережное отношение к окружающей среде;
- рациональное использование природных ресурсов;
- выполнение требований в области обращения с отходами;
- выполнение требований пожарной безопасности;
- соблюдение правил охоты и рыболовства;
- выполнение требований, установленных в целях борьбы с бытовым шумом в помещениях, на улицах, во дворах, на территории садоводческих товариществ (кооперативов), в местах отдыха и иных общественных местах;
- выполнение предписаний органов и должностных лиц, осуществляющих государственный контроль в области охраны окружающей среды;
- возмещение в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь, вреда, причиненного окружающей среде их действиями.

Законодательством Республики Беларусь могут быть определены иные права и обязанности граждан в области охраны окружающей среды. Предприятия, учреждения, организации и другие субъекты хозяйствования, деятельность которых связа-

на с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, вредным воздействием на него физических и иных факторов, обязаны:

- соблюдать законодательство об охране атмосферного воздуха и действующие в этой области нормы и правила;
- обеспечивать выполнение республиканских и местных программ, проектов и мероприятий по охране атмосферного воздуха;
- планировать и осуществлять мероприятия, направленные на предупреждение и ликвидацию загрязнения атмосферного воздуха;
- информировать государственные органы, осуществляющие государственный контроль в области охраны атмосферного воздуха, об аварийных ситуациях, о нарушениях технологических процессов, которые могут вызвать загрязнение атмосферного воздуха и создать угрозу здоровью населения;
- проводить обучение работников по вопросам охраны и рационального использования атмосферного воздуха;
- проводить работы по проектированию и строительству объектов, зданий и сооружений, изменению объема и профиля действующих производств, технологий и видов сырья только после получения положительного заключения государственной экологической экспертизы;
- обеспечивать контроль за объемом и составом загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, и уровнями вредного физического и иного воздействия на него; принимать необходимые меры по соблюдению технологических процессов и выполнению требований по охране атмосферного воздуха, рациональному его потреблению;
- обеспечивать соблюдение установленных нормативов качества атмосферного воздуха на основе соблюдения технологических процессов, надежной и эффективной работы очистных сооружений, установок и средств контроля;
- производить выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух по разрешению, выдаваемому республиканским органом государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды или его территориальными органами в пределах их компетенции;
- обеспечивать соблюдение правил транспортирования и хранения веществ и материалов с целью недопущения загрязнения ими атмосферного воздуха;

- приостанавливать или полностью прекращать производство в случае невозможности соблюдения нормативов и стандартов по охране атмосферного воздуха.

Аналогичные обязанности установлены соответствующими НПА по другим направлениям деятельности – обращению с отходами производства и потребления, водопотреблению и водоотведению, лесо-, землепользованию, использованию минеральных ресурсов и др.

## **10.6. Ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования**

В соответствии со ст. 98 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» *правонарушениями* в области охраны окружающей среды являются:

- нарушение НПА в области охраны окружающей среды и природопользования;
- нарушение требований экологической безопасности;
- нарушение порядка реализации проектных решений планируемой хозяйственной и иной деятельности, подлежащих государственной экологической экспертизе;
- нарушение правил безопасности при обращении с опасными химическими или иными веществами и отходами;
- нарушение правил охоты;
- разжигание костров в запрещенных местах и многие другие деяния, подробно рассмотренные в специальных законодательных актах.

Нарушение законодательства в области охраны окружающей среды влечет дисциплинарную, административную и уголовную ответственность. Привлечение лиц к ответственности не освобождает их от возмещения вреда, причиненного в результате вредного воздействия на окружающую среду, и выполнения мероприятий по ее охране.

Применение *дисциплинарной ответственности* регламентировано Трудовым кодексом Республики Беларусь (ст. 197–204). Сущность дисциплинарной ответственности выражается в наложении на виновного работника дисциплинарного взыскания за невыполнение служебных обязанностей, связанных с охраной окружающей среды и природопользования, которые определены в должностных инструкциях.

К нарушителям могут быть примерены следующие виды взысканий – *замечание, выговор, увольнение*. Законодательством и уставами предприятий могут быть установлены иные виды дисциплинарных взысканий, например *перевод на нижеоплачиваемую работу* на определенный срок или *понижение в должности*. Независимо от применения мер дисциплинарного взыскания нарушители могут *лишаться премий*, им могут быть *изменены сроки предоставления трудовых отпусков* и пр. Виды и порядок применения таких мер определяются правилами внутреннего трудового распорядка, коллективными договорами, соглашениями и другими локальными актами.

Кроме того, ст. 400–409 Трудового кодекса предусмотрено, что нарушители законодательства в области охраны окружающей среды могут быть привлечены к **материальной ответственности**. Этот вид ответственности отличается от имущественной ответственности, предусмотренной гражданским законодательством. В данном случае материальная ответственность выражается в обязанности работника *возместить в установленном порядке и установленных размерах вред*, причиненный по его вине организации в результате ненадлежащего исполнения своих трудовых обязанностей. Например, материальную ответственность работников, по вине которых организация понесла расходы по возмещению вреда, причиненного правонарушением в области охраны окружающей среды.

**Административная ответственность** выражается в применении уполномоченным государственным органом мер административного взыскания за совершение административных проступков. Кодекс об административных правонарушениях (КоАП) определяет составы административных проступков Республики Беларусь, при совершении которых наступает административная ответственность, компетенцию органов, привлекающих нарушителей к этому виду ответственности, виды административных взысканий, особенности привлечения субъектов к административной ответственности и т.п.

К административной ответственности могут быть привлечены граждане – физические и должностные лица.

В настоящее время применяются следующие виды административных взысканий: предупреждение, штраф, конфискация предмета (орудия) совершения правонарушения, лишения специальных прав (например, права на охоту).

*Предупреждение* как мера административного взыскания выносится в письменной форме должностным лицом в виде постановления по окончании рассмотрения дела. Размер *штрафа* устанавливается должностным лицом, рассматривающим правонарушение. В некоторых случаях нарушители могут освобождаться от штрафных санкций ввиду малозначительности правонарушения. В случае неуплаты штрафа нарушителем в установленный срок постановление о наложении штрафа направляется в организацию для его принудительного удержания из заработной платы, стипендии, пенсии нарушителя. *Конфискация* предмета, явившегося орудием совершения или непосредственно объектом административного правонарушения, состоит в принудительном безвозмездном обращении его в собственность государства. *Лишение прав охоты* применяется на срок до пяти лет за грубое или систематическое нарушение порядка пользования этим правом. Срок лишения такого права не может быть менее 15 дней.

**Уголовная ответственность** наступает за представляющие общественную опасность правонарушения против экологической безопасности и природной среды. Такими преступлениями признаются совершенные умышленно или по неосторожности общественно опасные деяния, причинившие или могущие причинить вред земле, водам, недрам, лесам, животному и растительному миру, атмосфере и другим природным объектам.

В соответствии с Уголовным кодексом Республики Беларусь (ст. 131, 263–283) уголовная ответственность предусмотрена за следующие преступления:

- экоцид – умышленное массовое уничтожение растительного или животного мира либо отравление атмосферы или водных ресурсов, либо совершение иных умышленных действий, способных вызвать экологическую катастрофу;
- умышленное уничтожение или повреждение особо охраняемых природных объектов;
- нарушение режима особо охраняемых природных территорий и объектов;
- нарушение требований экологической безопасности;
- прием в эксплуатацию экологически опасных объектов;
- непринятие мер по ликвидации последствий нарушения экологического законодательства;
- сокрытие либо умышленное искажение сведений о загрязнении окружающей среды;

- порча земель, уничтожение либо повреждение торфяников;
- нарушение правил охраны недр;
- загрязнение или засорение вод, нарушение правил водопользования;
- загрязнение атмосферы;
- загрязнение леса, уничтожение или повреждение леса по неосторожности, незаконная порубка деревьев и кустарников;
- нарушение правил безопасности при обращении с экологически опасными веществами и отходами;
- нарушение правил безопасности при обращении с микробиологическими, другими биологическими агентами или токсинами;
- нарушение правил борьбы с сорной растительностью, болезнями и вредителями растений;
- незаконная добыча рыбы или водных животных;
- незаконная охота, нарушение правил охраны рыбных ресурсов и водных животных.

Крупным размером ущерба, предусматривающим ответственность за совершение правонарушений в области охраны окружающей среды, признается размер ущерба на сумму в 250 раз и более превышающую размер базовой величины, установленной на день совершения преступления. К особо крупным размерам относится ущерб, в 1000 раз и более превышающий размер базовой величины. Следует отметить, что в ст. 275–277, 281 и 282 Уголовного кодекса Республики Беларусь при конкретных правонарушениях к разряду крупных и особо крупных относятся размеры ущербов, существенно меньше вышеуказанных.

При нарушении требований экологического законодательства работа отдельных производств, цехов и иных объектов может быть ограничена или приостановлена по решению Минприроды или его территориальных органов, местных исполнительных и распорядительных органов и иных уполномоченных органов государственного управления либо по решению суда в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Приостановка производственной деятельности не допускается для непрерывных технологических процессов, когда она может привести к аварийным ситуациям. В этом случае органы Минприроды передают материалы в прокуратуру для привлечения виновных лиц к ответственности в соответствии с действующим законодательством.



## 10.7. Организация экологического мониторинга

**Мониторинг окружающей среды** представляет собой систему наблюдений за состоянием окружающей среды для своевременной оценки возможных изменений физических, химических и биологических процессов, уровня загрязнения атмосферного воздуха, почвы, водных и других природных объектов, предупреждения и устранения негативных явлений, а также обеспечения заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией об окружающей среде и прогнозе ее состояния. Экологический мониторинг является основным инструментом для решения проблем взаимодействия человека и окружающей среды, ресурсо- и энергосбережения, рационального природопользования и других вопросов хозяйственной деятельности.

Интерпретация термина «мониторинг» (от лат. *monitor* – наблюдающий, предупреждающий) очень хорошо подходит к современному пониманию задачи мониторинга окружающей среды: наблюдение за состоянием экосистем, контроль их динамики и прогноз возможных изменений с целью управления ими.

Данные мониторинга необходимы для разработки конкретных мер по предупреждению критических, опасных и вредных для экосистемы и здоровья человека ситуаций, сохранения популяций организмов и их сообществ. В общем виде мониторинг окружающей среды можно представить в виде блок-схемы (рис. 10.1).

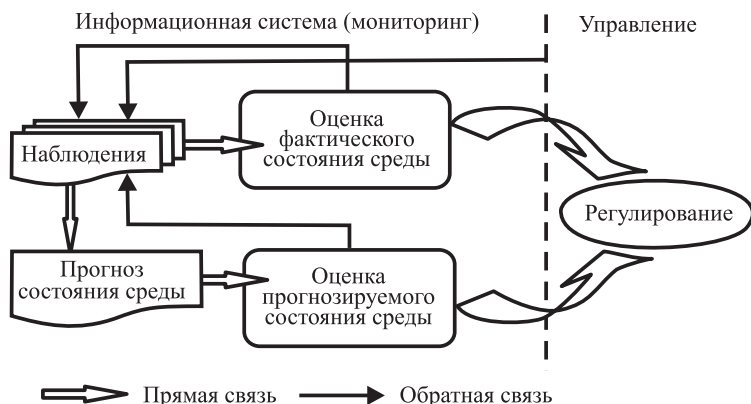


Рис. 10.1. Блок-схема мониторинга окружающей среды

Объектами мониторинга экосистем являются: их структура, динамика и ритмика; биосферные станции и заповедники; загрязнение почвы, воды и воздуха; изменение газовых составляющих атмосферы.

В зависимости от характера и объема задач, решаемых мониторингом, различают следующие его виды:

- *локальный (импактный)* – контролирует выбросы предприятий, оценивает степень загрязнения промышленных и прилегающих к ним территорий в локальном масштабе;

- *региональный* – предназначен для сбора и анализа данных о загрязнении среды на всей территории региона, проведения научных исследований и разработки рекомендаций по охране окружающей среды в данном регионе;

- *фоновый* – предназначен для фиксации фонового состояния окружающей среды, осуществляется в рамках программы «Человек и биосфера». Он проводится, как правило, на базе биосферных заповедников, где исключена всякая хозяйственная деятельность. Все превышения концентраций загрязняющих веществ над фоновыми регистрируются и контролируются соответствующими органами экологического надзора;

- *национальный* – направлен на получение информации от региональных систем, искусственных спутников Земли и космических орбитальных станций, предназначен для разработки комплексных мер по охране окружающей среды государства;

- *глобальный* – используется для исследований и охраны природы в рамках международных соглашений.

Контроль за состоянием окружающей среды может быть непрерывным, периодическим и с помощью экспресс-методов. Он базируется на физико-химических, спектральных, хроматографических, оптических, лазерных и радиометрических анализах воздуха, воды или почвы. Кроме того, экологический мониторинг осуществляется методами подсчета видов растений на определенной территории и учета поголовья диких животных и птиц, учета гнездований птиц и изучения путей их миграции.

Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС), созданная в 1993 г., является структурным элементом мониторинга стран СНГ и Европы. В общем случае она включает медицинский, биологический, импактный и комплексный экологический мониторинг.

На структурной схеме организации НСМОС показаны основные исполнители мониторинга (рис. 10.2).

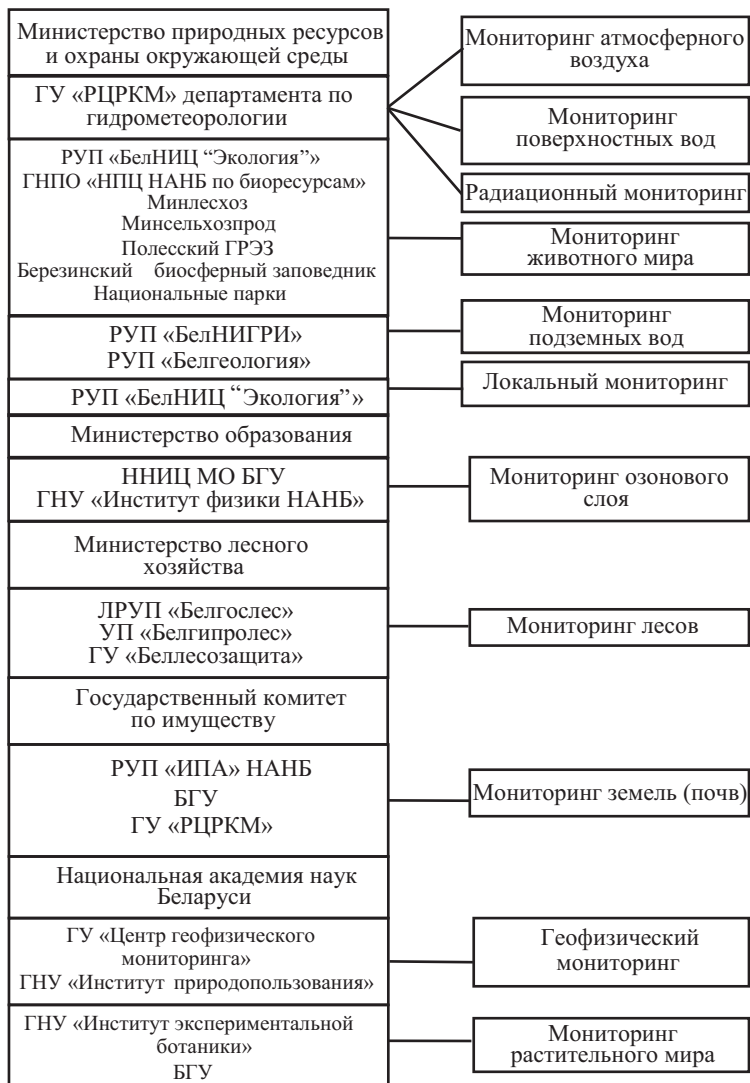


Рис. 10.2. Структурная схема организации Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь

*Мониторинг атмосферного воздуха* заключается в наблюдениях за региональными и глобальными потоками загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, атмосферных осадках и снежном покрове в 18 городах, в которых проживает 81,3% населения республики. Всего контролируется 32 вещества, в том числе оксид углерода, диоксиды азота и серы, взвешенные вещества, формальдегид, фенол.

*Мониторинг поверхностных вод* состоит из наблюдений за естественными водоемами и водотоками. Гидрохимические наблюдения ведутся на 83 водных объектах. В комплексе с ними на 74 объектах ведутся гидробиологические исследования. Определяется концентрация в воде 80 веществ, степень загрязнения природных водных объектов и его прогноз.

*Радиационный мониторинг* включает в себя наблюдения за мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения, уровнем радиоактивных выпадений из приземного слоя атмосферы, содержанием радиоактивных аэрозолей в воздухе. Кроме того, контролируется радиоактивное загрязнение вод и почв, лесной и сельскохозяйственной растительности, продуктов питания.

*Мониторинг животного мира* проводится с целью контроля за популяциями и сообществами наиболее показательных (массовых) видов животных – диких копытных и птиц, а также фиксирования биоразнообразия в стране. Для этого отмечают видовой состав, плотность, экологическое распределение наиболее массовых видов животных и птиц.

*Мониторинг подземных вод* включает в себя 34 поста фонового ранга и 36 – регионального. Объектами исследования являются скважины подземных вод. В состав контролируемых показателей входят основные ионы, железо, марганец, фтор, соединения азота, растворенные органические вещества, пестициды и тяжелые металлы.

*Локальный мониторинг* проводится в целях наблюдения за источниками вредного воздействия на окружающую среду и состоянием окружающей среды в районе их расположения, оценки и прогноза изменения состояния окружающей среды и вредного воздействия на нее. В состав локального мониторинга входят наблюдения за источниками атмосферного воздуха (соблюдение нормативов допустимых выбросов), сбросом сточных вод в поверхностные и подземные воды (соблюдение нормативов допустимых сбросов), земли (включая почвы) в районе расположения выявленных или потенциальных источников их загрязнения.

Исполнителями являются природопользователи, осуществляющие эксплуатацию источников вредного воздействия на окружающую среду. Методическое руководство проведением локального мониторинга осуществляют Минприроды и его территориальные органы.

*Мониторинг озонового слоя* осуществляется на двух станциях в Минске, где ведутся наблюдения за общим содержанием атмосферного озона, его вертикальным распределением, регистрируются биологически активное ультрафиолетовое излучение и состояние озонового слоя над территорией страны. Все полученные данные передаются в Мировой банк данных по озону, а также в Росгидромет в соответствии с международными соглашениями, подписанными Республикой Беларусь.

*Мониторинг лесов* осуществляется на всей территории республики. В качестве базовой технологии мониторинга объектами наблюдений являются крупные массивы лесов (16×16, 8×8 или 4×4 км) около крупных городов. Контролируется процент дефолиации (опадания листвы) листвы и хвои, их цвет, степень повреждения листового аппарата, процент усыхающих ветвей, содержание основных элементов питания в листве и хвое, состав лесной подстилки и лесных почв и т.д. Здесь же проводится эколого-мелиоративный мониторинг земель в составе Гослесфонда Беларуси, целью которого является выявление изменений, происходящих на лесных заболоченных землях под влиянием мелиорации с целью разработки эффективных мероприятий по лесохозяйственному использованию мелиорированных земель.

*Мониторинг земель (почв)* состоит из мониторинга земельного фонда, агропочвенного мониторинга и мониторинга агротехногенно-загрязненных почв. Мониторинг земель направлен на постоянный контроль за структурой земельного фонда, его качественного состояния по видам и категориям земель. Агропочвенный мониторинг ставит своей целью контроль за свойствами почв, эрозионными процессами, влиянием удобрений и осушения. Мониторинг агротехногенно-загрязненных почв состоит в контроле за загрязнением почв в городах, придорожных полосах, сельскохозяйственных угодий пестицидами и за глобальным фоновым загрязнением почв республики.

*Геофизический мониторинг* проводится с целью исследования и наблюдения за геомагнитным и гравитационным полями, их динамикой. Контролируются магнитные бури, уровни сейсмического шума, фазы сейсмических волн и др.

Объектами *мониторинга растительного мира* являются растительные сообщества на лугах (мониторинг луговой растительности) и в наиболее крупных озерных водоемах и водотоках (мониторинг высшей водной растительности). Определяются видовой состав, плотность популяции, продуктивность, численность и т.д.

Программы наблюдений при организации мониторинга формируются по принципу выбора приоритетных загрязняющих веществ или интегральных характеристик процессов, явлений и т.п. Определение приоритетов зависит от цели и задач конкретных программ: например, в региональном мониторинге отдается городам, водным объектам – источникам питьевого водоснабжения и местам нерестилищ рыб. В отношении сред наблюдений в первую очередь исследуют атмосферный воздух и воду пресных водоемов. Приоритетность ингредиентов определяется с учетом критериев, отражающих токсические, радиоактивные или болезнетворные свойства веществ, а также объемов их поступления в окружающую среду, способности к трансформации, степени воздействия на живые организмы и др.

Составной частью глобального мониторинга являются *геоинформационные системы* (ГИС), представляющие собой компьютерную систему сбора (в том числе и с помощью космических аппаратов) информации, ее хранения, выборки, анализа и графического отображения для геоэкологических исследований, составления ландшафтных карт, карт загрязненности территорий, состояния окружающей среды, почвы, лесов и других объектов. Для этого используются следующие виды мониторинга:

- аэрокосмическая съемка (фотографическая, телевизионная, радиолокационная, инфракрасная, многозональная, радиометрическая, радиационная, СВЧ и др.) с высоты 600–1000 км с использованием искусственных спутников Земли;
- аэрокосмовизуальная съемка с высоты 250–300 км с космических кораблей в масштабах 1:200 000–1:2 000 000;
- космовизуальные наблюдения с космических кораблей;
- съемка с высоты 10–20 км в масштабах 1:50 000–1:200 000 с самолетов, воздушных шаров для детальных исследований;

- аэровизуальные наблюдения с самолетов или вертолетов для оперативного анализа происходящих изменений.

Современные ГИС базируются на получении объективной космической информации с помощью фотосистем с высокой разрешающей способностью, причем за 3–5 мин съемки со спутника можно получить фотографическое изображение территории, которую пришлось бы снимать с самолета в течение двух лет.

Кроме того, на космических снимках можно выявить некоторые структуры, которые не видны или незаметны при обычных методах наблюдений (например, места глубинных разломов).

Высокий спрос на ГИС привел к созданию глобальных хранилищ баз данных, к которым каждый пользователь может получить доступ. Наиболее известна в мире система GeoMedia корпорации Intergraph, предназначенная для профессиональных организаций, нуждающихся в получении пространственных данных ГИС в своей работе.

## **10.8. Экономика управления природопользованием и охраной окружающей среды**

### **10.8.1. Экономический механизм природопользования**

*Экономический механизм природопользования* основан на принципе «загрязнитель платит», который определяет источники финансирования деятельности по охране окружающей среды и рациональному природопользованию, ее экономическое стимулирование, плату за природопользование, а также возмещение вреда в связи с негативными изменениями окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности. Этот принцип отражен на Орхусской конференции (Дания, 1998) в докладе «Финансирование природоохранной деятельности в странах ЦВЕ/СНГ: выводы и рекомендации», представленным Специальной рабочей группой при поддержке Секретариата Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

Экономический механизм охраны окружающей среды и природопользования включает следующие элементы:

- разработку государственных прогнозов и программ социально-экономического развития страны в части рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды;

- финансирование программ и мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды;
- создание фондов охраны природы;
- установление платежей за природопользование;
- проведение экономической оценки природных ресурсов;
- проведение экономической оценки воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;
- установление мер экономического стимулирования в области охраны окружающей среды;
- возмещение в установленном порядке вреда, причиненного в результате вредного воздействия на окружающую среду;
- экологическое страхование;
- иные экономические меры, направленные на охрану окружающей среды.

Экономический механизм охраны окружающей среды и природопользования может реализовываться:

- через рыночно-ориентированные инструменты:
  - природно-ресурсные платежи и платежи за загрязнение среды;
  - рыночные цены на природные ресурсы;
  - механизм купли-продажи прав на загрязнение природной среды;
  - залоговую систему;
  - интервенции с целью коррекции рыночных цен и поддержки производителей (в том числе на рынках рециклируемых отходов);
  - методы прямых рыночных переговоров;
- финансово-кредитные инструменты:
  - формы и инструменты финансирования природоохранных мероприятий;
  - кредитный механизм охраны окружающей среды, займы, субсидии и пр.;
  - режим ускоренной амортизации природоохранного оборудования;
  - экологические и ресурсные налоги;
  - систему страхования экологических рисков.

Внедрение экономического механизма в управлении окружающей средой в Республике Беларусь приходится на начало 1990-х гг. Он включает четыре направления деятельности:

- планирование и финансирование природоохранных мероприятий;



- льготное кредитование и экономическое стимулирование природоохранной деятельности;
- взимание налогов и других платежей за использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды;
- возмещение вреда, причиненного окружающей среде (рис. 10.3).

В настоящее время в стране разработан основной документ для долговременного природоохранного планирования «Основные направления политики в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г.». Этим документом определена прежде всего стратегическая цель охраны окружающей среды на долгосрочный период: достижение более высокого качества среды обитания, обеспечивающей экологически благоприятные условия проживания населения на территории республики; содействие решению глобальных и региональных экологических проблем, устойчивому социальному и экономическому развитию страны.

Решение стратегических задач в области природопользования и охраны окружающей среды с учетом социального и экономического развития предусматривается и в НСУР страны, которая разрабатывается на 15 лет. Наиболее значимые для страны проблемы экологической безопасности и рационального природопользования решаются через специальные целевые программы.

Для реализации среднесрочных задач разрабатываются пятилетние национальные планы действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, а также по гигиене окружающей среды.

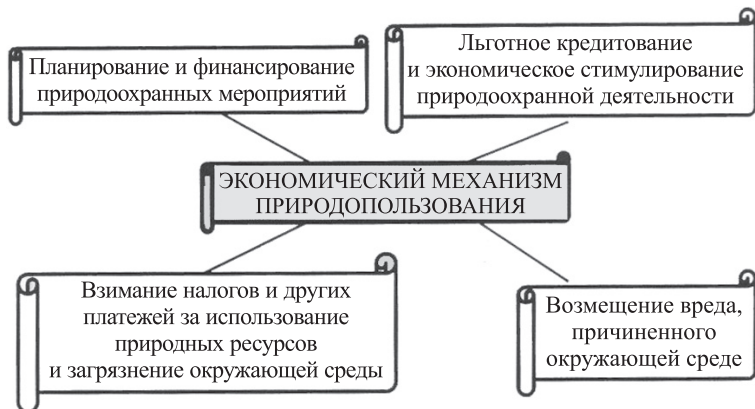


Рис. 10.3. Блок-схема экономического механизма природопользования

Территориальное экологическое планирование осуществляется в рамках территориальных комплексных схем охраны окружающей среды (ТерКСООС), а также включается в схемы комплексной территориальной организации административных единиц всех уровней и схемы землеустройства районов.

Выполнение запланированных программ и мероприятий не может быть осуществлено без соответствующего их финансирования. Его источниками по действующему природоохранному законодательству могут выступать средства республиканского и местных бюджетов, государственных целевых бюджетных фондов охраны природы, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, граждан Республики Беларусь и иностранных граждан, кредиты банков, иностранные инвестиции и другие внебюджетные источники.

Для финансирования мероприятий по рациональному природопользованию и охране окружающей среды в нашей стране созданы государственные целевые бюджетные фонды охраны природы. Источниками формирования средств фондов являются экологические налоги; средства, получаемые в счет возмещения вреда окружающей среде; штрафы за сверхнормативное и сверхлимитное загрязнение окружающей среды и иные нарушения природоохранного законодательства.

В настоящее время средства фондов охраны природы расходуются преимущественно на бесперебойное снабжение населения качественной питьевой водой (54,4%); внедрение современных технологий очистки сточных вод; снижение загрязнения атмосферного воздуха за счет замены или модернизации систем очистки отходящих газов (20,9%); решение проблем захоронения токсичных отходов; организацию производств по вовлечению в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов; использование возобновляемых источников энергии; благоустройство зон отдыха и другие мероприятия.

Среди затрат на охрану окружающей среды и рациональное природопользование особое значение имеют инвестиции в основной капитал, которые прежде всего характеризуют степень обновления основных фондов природоохранного назначения (природоохранное оборудование и экологоориентированные технологии), чем обеспечиваются материальные предпосылки инновационного развития данной сферы.

*Экономическое стимулирование* охраны окружающей среды осуществляется на основе:

- установления отдельным категориям юридических и физических лиц налоговых и иных льгот при внедрении ими малоотходных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, специального оборудования, снижающего вредное воздействие на окружающую среду, при использовании отходов в качестве вторичного сырья и осуществления иной природоохранной деятельности;
- ускоренной амортизации оборудования и других объектов, предназначенных для охраны и оздоровления окружающей среды.

Основным механизмом экономического регулирования охраны окружающей среды выступает экологический налог, который состоит из следующих видов платежей:

- за использование (изъятие, добычу) природных ресурсов, выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в природную среду, размещение отходов производства;
- производство и (или) импорт пластмассовой, стеклянной тары, тары на основе бумаги и картона, иных товаров, после утраты потребительских свойств которых образуются отходы, оказывающие негативное влияние на окружающую среду и требующие организации систем их сбора, обезвреживания и (или) использования; за импорт товаров, упакованных в пластмассовую, стеклянную тару, тару на основе бумаги и картона;
- импорт и производство товаров, содержащих более 50% летучих органических соединений;
- ввоз на территорию страны озоноразрушающих веществ.

Экономическое стимулирование охраны окружающей среды предусматривает установление льгот по налогообложению за внедрение малоотходных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, использование отходов в качестве вторичного сырья, внедрение международных экологических стандартов ИСО серии 14000, осуществление других природоохранных мероприятий, а также льготное кредитование и ускоренную амортизацию оборудования, предназначенного для охраны окружающей среды.

Первоначально система экономического регулирования природопользования носила в большей степени фискальный характер, так как экологические платежи не имели реального влияния на техническое и финансовое состояние предприятий-загрязнителей. В настоящее время данная система в боль-

шей степени направлена на стимулирование природопользователей к снижению негативного воздействия на окружающую среду за счет развития принципов платности природопользования и возмещения вреда, причиненного окружающей среде.

Именно посредством экологических платежей (налогов), вносимых предприятиями-загрязнителями, на практике осуществляется реализация принципа «загрязнитель платит». Кроме того, данные платежи играют важную стимулирующую роль, нацеливая предприятие на природоохранную реконструкцию и модернизацию производства.

С целью обеспечения экономической заинтересованности субъектов хозяйственной деятельности в выполнении установленных лимитов природопользования за их превышение вводятся повышающие коэффициенты к ставкам экологического налога. За использование природных ресурсов сверх лимита налог увеличивается в 10 раз, за сверхлимитные выбросы или сбросы – в 15 раз, за сверхлимитное размещение производственных отходов – в 5 раз.

Из рыночных инструментов также заслуживает внимания *залоговая система*, представляющая собой установленные законодательным путем или в результате добровольных соглашений платежи, которые собираются при покупке потенциально опасных товаров и возвращаются при обратном поступлении использованной продукции. Этот механизм может применяться как своеобразная гарантия высокого уровня рециклинга самой продукции или ее упаковки. Рыночные интервенции проводятся, как правило, в виде субсидирования рыночных цен, например на сырье, являющееся результатом переработки отходов. Необходимость в таком субсидировании и поддержке производителей возникает, когда существующие на рынке цены не покрывают затрат по рециклингу.

По мере развития рыночных отношений роль экономических методов регулирования природоохранной деятельности будет возрастать. На ближайшее пятилетие планируется реализовать еще ряд мер: разработку экономических методов стимулирования использования вторичных ресурсов; внедрение системы государственных субсидий для экологических проектов; внедрение метода ускоренной амортизации основных фондов объектов природоохранного назначения; уточнение методик расчета экологического налога; подготовку нормативной и методической документации по обязательному экологическому страхованию.

В будущем роль экономического механизма природопользования неизбежно будет возрастать, с тем чтобы обеспечить перевод экологической политики на принцип профилактики экологических проблем, а не на их последующее дорогостоящее решение.

В соответствии с НСУР Республики Беларусь на период до 2020 г. планируется разработать следующие меры по совершенствованию и реализации эколого-экономического механизма природопользования:

- совершенствование природоохранного законодательства;
- стимулирование ресурсосбережения, учет в платежах за природные ресурсы ренты, а в платежах за загрязнение и деградацию природной среды – реально наносимого экономического ущерба;
- реализация инновационного механизма природоохранной и ресурсосберегающей деятельности;
- создание рынка экологических услуг, технологий и оборудования;
- разработка системы экономического стимулирования внедрения природоохранных технологий и оборудования с использованием системы дифференцированного кредитования, а также отбора наиболее экономичных видов оборудования при сопоставимой экологической результативности;
- минимизация экологического риска при планировании и осуществлении хозяйственной деятельности;
- обеспечение приоритетного финансирования государственных программ по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды;
- учет экологических требований при приватизации предприятий и использование части полученных средств на экологизацию производства.

### **10.8.2. Возмещение вреда, причиненного окружающей среде**

Совершенствование системы платы за специальное природопользование должно проводиться в сторону увеличения доли компенсации ущерба за деградацию окружающей среды вплоть до полного его возмещения. В настоящее время, по имеющимся оценкам, такое возмещение через налоговую систему и штрафные санкции в целом по республике составляет 10–20%. В данном случае ключевым юридическим понятием является вред, причиненный окружающей среде.

**Вред, причиненный окружающей среде**, – отрицательное изменение окружающей среды или отдельных компонентов природной среды, природных или природно-антропогенных объектов в денежном выражении, выразившееся в их загрязнении, деградации, истощении, повреждении, уничтожении, незаконном изъятии и (или) ином ухудшении их состояния, в результате вредного воздействия на окружающую среду, связанного с нарушением требований в области охраны окружающей среды, иным нарушением законодательства Республики Беларусь.

Понятие «вред» имеет различные оттенки (экономический, экологический, моральный, социальный и т.п.), однако в основе его, как правило, лежат экономические факторы. Составными частями вреда являются ущерб и убыток.

Применительно к природной среде причиненный вред может быть представлен в виде реальных и предполагаемых потерь для нее. Такие потери выражаются в форме *ущерба* (реальные потери в природной среде – уничтожение лесных массивов, животного мира, истощение вод, снижение плодородия почв и т.п.) и *убытков* (расходы на восстановление нарушенного состояния природной среды, неполученные доходы, экологические, социальные потери) (рис. 10.4).

На величину ущерба от загрязнения влияют следующие факторы: число людей, которые могут пострадать; виды и интенсивность воздействия загрязнений; природные комплексы, на которые воздействуют загрязнения; косвенные последствия загрязнений; обратимость последствий и возможность их ликвидации, время наступления и продолжительность последствий от загрязнений; возможность проведения профилактических мероприятий и ликвидации последствий загрязнений и затраты на них.

Ущерб окружающей среде может усиливаться из-за природных цепных реакций, которые часто невозможно предвидеть. Нередко локальный ущерб может возрасти во времени и в пространстве.

Универсальной единицы измерения ущерба не существует. Чаще всего его оценку производят в стоимостном выражении. Ущерб может быть незначительным, если он не превышает порога чувствительности экологических систем и их устойчивости, а также существенным.



Рис. 10.4. Виды и формы ущерба окружающей среде и способы его устранения

Оценка экологического вреда (ущерба) проводится:

- для взыскания компенсаций за причиненный вред природным ресурсам и окружающей среде в результате нарушения природоохранного законодательства;
- установления компенсационных платежей в возмещение экологического вреда при получении разрешений на осуществление хозяйственной деятельности (недропользовании, осуществлении инвестиционных проектов, затрагивающих окружающую среду);

- расчета страховых платежей при страховании ответственности за риск, причиненный загрязнением природной среды в результате хозяйственной деятельности (например, при добыче нефти и газа или иных полезных ископаемых);
- при предъявлении исков и претензий о компенсации убытков, вызванных причинением вреда, находящимся в их пользовании или собственности, природным ресурсам (в основном земельным участкам);
- предъявлении исков о возмещении убытков, причиненных изъятием земельных участков у собственников, владельцев, пользователей;
- подготовке разделов «Оценка воздействия на окружающую среду» проектов хозяйственной деятельности;
- проведении экологической экспертизы и принятия решения о допустимости или недопустимости строительства конкретных объектов;
- планировании развития территории.

Факт причинения вреда окружающей среде устанавливается и фиксируется территориальными органами Минприроды, Министерства лесного хозяйства, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Государственной инспекцией охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь, местными исполнительными и распорядительными органами, другими государственными органами, осуществляющими государственный контроль в области охраны окружающей среды в пределах своей компетенции.

Вред, причиненный окружающей среде, может быть определен уполномоченными государственными органами визуальным наблюдением, инструментальными или расчетными методами согласно НПА и ТНПА.

Размер возмещения вреда окружающей среде определяется по установленным Указами Президента Республики Беларусь таксам в зависимости от количественных показателей (массы, концентрации, площади деградации земель, количества и видов диких животных, деревьев, кустарников и т.п.), степени опасности, продолжительности воздействия вредного фактора, затрат на восстановление состояния окружающей среды и др. Кроме того, законодательством установлены повышающие коэффициенты к базовым таксам в зависимости от численности жителей населенных пунктов и глубины деградации земель.



Затраты определяются исходя из видов и объема работ по восстановлению нарушенного состояния окружающей среды, включая затраты на разработку, рассмотрение, согласование, утверждение проектной документации, наблюдение за состоянием окружающей среды, компонента природной среды и прогноз его изменения в период проведения указанных работ, неполученные государством доходы.

Следует иметь в виду, что ст. 102 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» предусматривает возмещение вреда личности и имуществу гражданина в результате вредного воздействия на окружающую среду. При этом вред, причиненный здоровью и имуществу граждан ухудшением состояния окружающей среды, вызванным деятельностью юридических лиц и граждан, подлежит возмещению в полном объеме. Возмещение вреда производится на основании решения суда по иску потерпевшего, членов его семьи, прокурора, специально уполномоченных органов и общественных организаций.

## **10.9. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды**

Глобальные экологические проблемы затрагивают жизненные интересы всего человечества и требуют для своего решения коллективных усилий всех государств и мирового сообщества в целом. Основные принципы международного сотрудничества в области охраны окружающей среды разработаны в Стокгольмской декларации 1972 г., среди которых можно выделить следующие:

- неотъемлемого суверенитета над природными ресурсами;
- непричинения вреда природной среде;
- права на благоприятную окружающую среду;
- устойчивого развития;
- международной ответственности за причиненный ущерб;
- оценки и предотвращения трансграничных экологических последствий планируемой деятельности;
- запрещения экологической агрессии, экоцида;
- регулярного обмена информацией об экологической ситуации на национальном и региональном уровнях и др.

Республика Беларусь является стороной как двусторонних, так и многосторонних соглашений в области охраны окружающей среды. Особое место среди многосторонних договоров за-

нимают общие договоры, посвященные вопросам, представляющим интерес для международного сообщества государств и направленным на создание общепризнанных норм международного права.

Основными направлениями международного сотрудничества Республики Беларусь в области охраны окружающей среды являются:

- обеспечение выполнения обязательств, принятых в соответствии с международными договорами в области охраны окружающей среды;

- проработка вопросов о присоединении Республики Беларусь к новым многосторонним международным договорам и расширении участия страны в общеевропейских процессах;

- расширение договорно-правовых основ сотрудничества в области охраны окружающей среды с государствами – членами Европейского союза и другими странами регионов Ближнего Востока, Юго-Восточной Азии и Северной Африки;

- развитие и совершенствование двусторонних отношений с сопредельными государствами в области:

- трансграничных охраняемых природных комплексов и объектов и совместных механизмов управления ими;

- управления бассейнами трансграничных рек, подземными водными бассейнами и другими видами разделяемых природных ресурсов;

- сохранения и регулирования биоразнообразия;

- трансграничного мониторинга и обмена информацией о состоянии окружающей среды;

- совершенствования системы подготовки кадров на многосторонней и двусторонней основе, а также обмена специалистами в рамках взаимодействия с международными организациями и странами-партнерами;

- формирования долгосрочного стратегического партнерства с международными финансовыми организациями, странами-донорами, совершенствование системы подготовки инвестиционных проектов и проектов международной технической помощи.

Республика Беларусь на постоянной основе поддерживает контакты с рядом межправительственных организаций: Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирной метеорологической организацией (ВМО), Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), Европейской экономической ко-

миссией ООН по вопросам охраны окружающей среды и водным ресурсам (ЕЭК ООН), Программой развития ООН (ПР ООН), Всемирным банком, Глобальным экологическим фондом (ГЭФ), Исполнительным органом Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Международной справочной системой источников информации по окружающей среде, Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Комиссией европейского сообщества и др.

За последние годы значительно расширилось сотрудничество с такими крупными международными организациями, как Совет Европы, Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Всемирный банк, Евробанк, Международный союз охраны природы (МСОП) и др.

Приоритетным направлением в международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды является развитие двусторонних связей, прежде всего с государствами – членами Межгосударственного экономического совета (МЭС) и другими сопредельными государствами, а также с потенциальными инвесторами (Германия, Швейцария, Дания, Голландия).

Подписаны и реализуются межправительственные соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды с Латвией, Литвой, Польшей, Российской Федерацией и Украиной, межведомственные – с Польшей, Данией, Молдовой, Литвой и Болгарией.

Определены приоритетные направления международного сотрудничества по реализации проектов: воды и водоочистка; опасные отходы (в том числе пестициды); устойчивое управление природными и лесными ресурсами.

Активно развивается сотрудничество между странами – участниками МЭС. Подписано Соглашение по информационному сотрудничеству в области экологии и охраны окружающей природной среды, а также Устав Межгосударственного экологического информационного агентства «Экоинформ». МЭС одобрил проект Соглашения о взаимодействии в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов. Рекомендованы к подписанию проекты Соглашения по сотрудничеству в области экологического мониторинга и интеграции в международные системы мониторинга

и Положения о межгосударственной системе экологического мониторинга, а также Устав Межгосударственного экологического фонда.

Особое внимание в развитии международного сотрудничества на многосторонней основе уделяется в республике организации и обеспечению выполнения международных конвенций и подписанных к ним протоколов, прежде всего в разработке национальных механизмов выполнения стратегий, планов действий, а также активизации сотрудничества с органами управления конвенциями.

Республика Беларусь является стороной 13 глобальных и 9 региональных международных соглашений, а также 34 двусторонних и многосторонних договоров.

К настоящему времени подписаны и ратифицированы следующие конвенции и протоколы:

- Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979);

- Протокол Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979), касающийся долгосрочного финансирования совместной Программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния (ЕМЕП) (1984);

- Протокол о сокращении выбросов серы и их трансграничных потоков по меньшей мере на 30% (1985);

- Протокол об ограничении выбросов окислов азота или их трансграничных потоков (1988);

- Венская Конвенция об охране озонового слоя (1986);

- Монреальский Протокол о веществах, разрушающих озоновый слой (1988);

- Конвенция ООН о биологическом разнообразии (1993);

- Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС) (1999);

- Иоханнесбургская декларация по устойчивому развитию (2002);

- Рамсарская Конвенция по водно-болотным угодьям (1999);

- Базельская Конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением (1999);

- Рамочная Конвенция и Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1996; 2005);

- Конвенция о доступе к информации, участию общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (1998);
- Стокгольмская Конвенция о стойких органических загрязнителях (2004);
- Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (Эспо, 1991; 2006 и др.).

Практические мероприятия по реализации вышеперечисленных конвенций и протоколов в республике осуществляются Правительством совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами, что в конечном итоге способствует определенному улучшению экологической обстановки.

Выполняя принятые на себя обязательства в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, Республика Беларусь ведет постоянную работу по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий и других объектов хозяйственной деятельности. Выполнены требования Протокола по ограничению выбросов оксидов азота, они снижены на территории республики до уровня 1987 г. Утверждена Республиканская Программа по сокращению использования озоноразрушающих веществ, одобренная Правительством и Всемирным банком.

В Республике Беларусь с целью выполнения обязательств, вытекающих из положений Конвенции о биологическом разнообразии, разработан проект «Стратегии сохранения биоразнообразия Республики Беларусь». Проводится многоплановая работа по выработке политики и стратегии для реализации подписанной Конвенции по оценке воздействия на окружающую среду. С этой целью принят ряд законодательных актов, обязывающих заказчиков объектов хозяйственной деятельности проводить на предпроектной стадии оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Во исполнение требований Конвенции и вышеуказанных законодательных актов в республике разработана национальная процедура оценки воздействия планируемой деятельности на окружающую среду, которая увязана с положениями Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте.

Республикой Беларусь при поддержке Всемирного банка осуществляется международный проект Глобального экологического фонда «Первоочередные мероприятия по выполнению

Стокгольмской Конвенции о стойких органических загрязнителях (СОЗ) в Республике Беларусь». В результате реализации данного проекта разработан и утвержден Национальный план выполнения положений Стокгольмской Конвенции, ставший основной государственной программой действий по предотвращению и минимизации отрицательного влияния СОЗ на окружающую среду и здоровье населения. Итогом выполнения этой программы станет полное прекращение производства и применения СОЗ, уничтожение их запасов, а также предотвращение появления в окружающей среде новых стойких органических загрязнителей.

Особенно большое внимание в международном сотрудничестве уделяется вопросам укрепления приграничного взаимодействия с сопредельными странами – Украиной, Польшей, Литвой и др. Приоритетным направлением сотрудничества с этими странами является охрана трансграничных водных объектов от загрязнения и осуществление совместного мониторинга их состояния.

В области международного технического сотрудничества в течение последних лет активно проводилась работа по реализации проектов международной технической помощи, в ходе которой в страну привлечены финансовые средства ПРООН/ГЭФ, Всемирного банка и Европейской комиссии.

Республика Беларусь выполняет все двусторонние правительственные и межведомственные соглашения и протоколы к ним в области охраны окружающей среды в рамках межгосударственного экологического совета стран СНГ.

В 1978 г. XIV Генеральная ассамблея МСОП одобрила и торжественно приняла Всемирную стратегию охраны природы. Республика Беларусь также приняла этот документ и планомерно выполняет его основные положения на своей территории.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите и охарактеризуйте основные направления и принципы государственной политики в области охраны окружающей среды.
2. Как увязаны направления государственной политики в области охраны окружающей среды с Концепцией экологической безопасности Республики Беларусь?
3. Что такое устойчивое развитие?

4. В чем заключается Национальная стратегия устойчивого развития страны?

5. Прокомментируйте основные принципы устойчивого развития страны.

6. Какие основные задачи решает законодательство Республики Беларусь об охране окружающей среды?

7. Какие документы относятся к нормативным правовым актам и какова их иерархия?

8. Дайте характеристику технических нормативных правовых актов.

9. Каковы основные права и обязанности природопользователей по охране окружающей среды?

10. Какие органы осуществляют государственное управление и контроль в области охраны окружающей среды?

11. Какие виды контроля осуществляются в области охраны окружающей среды?

12. Дайте характеристику структуры и организации экологического мониторинга в стране.

13. Назовите и охарактеризуйте виды ответственности за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования.

14. Какие существуют основные направления международного сотрудничества Республики Беларусь в области охраны окружающей среды?

15. Как осуществляется международное сотрудничество в области охраны окружающей среды?

16. Перечислите основные международные документы в области охраны окружающей среды.

17. В чем заключается экономический механизм природопользования?

18. Что представляют собой льготное кредитование и экономическое стимулирование природоохранной деятельности?

19. Как определяются ставки экологического налога?

20. Как производится возмещение вреда, причиненного окружающей среде природопользователями?

21. Что представляет собой нравственный, научно-технический и экологический императивы?

## ГЛАВА 11

# ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

---

### 11.1. Система управления окружающей средой на производстве

За последнее время ведущими отечественными предприятиями накоплен большой опыт предотвращения отрицательного воздействия на окружающую среду при одновременном увеличении объемов производства, снижении удельных расходов сырья и материалов, экономии энергоресурсов, улучшении качества продукции. Такие результаты обеспечиваются эффективным управлением окружающей средой, являющимся важным фактором решения основных производственных задач организации, и тесно связанным с системой менеджмента качества.

**Система управления окружающей средой (СУОС)** – часть системы административного управления организации, используемая для разработки и осуществления ее экологической политики и управления ее экологическими аспектами. Система включает структуру организации, планирование деятельности, ответственность, практическую деятельность, процедуры, процессы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики.

Для разработки СУОС используются международные стандарты серии ИСО 14000, в частности СТБ ИСО 14001–2005 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению». Модель СУОС представлена на рис. 11.1.

Реализация СУОС предприятия обычно осуществляется в несколько этапов.

На *первом этапе* руководство предприятия должно определить миссию и стратегические цели в области природоохранной деятельности и разработать свою экологическую политику, экологические цели и обязательства в письменной форме. Следующее действие предприятия – предварительный внутренний аудит имеющейся системы экологического менеджмента, оценка ее соответствия требованиям стандарта ИСО 14001.



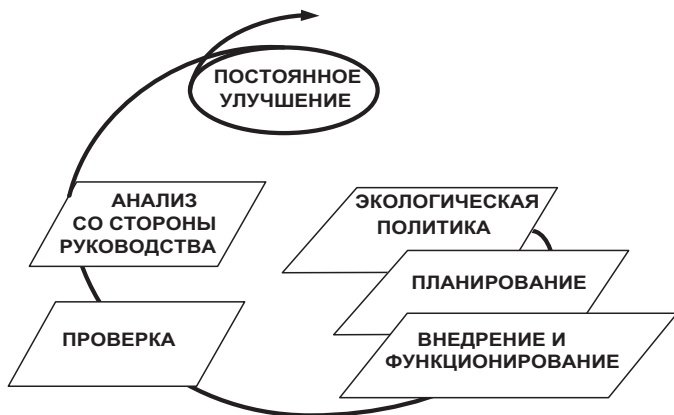


Рис. 11.1. Модель системы управления окружающей средой

На *втором этапе* должны быть разработаны, описаны и внедрены отсутствующие, но необходимые элементы системы, а также переработаны те из них, которые не полностью удовлетворяют требованиям ИСО 14001. Обычно эта работа выполняется в форме составления и (или) корректировки документов – процедур и рабочих инструкций. Экологическая политика и экологические цели должны быть включены в «Руководство по СУОС», которое также разрабатывается на данном этапе.

При этом может потребоваться совершенствование организационной структуры предприятия с учетом сферы ответственности и полномочий сотрудников, включенных в работу СУОС. При выполнении этой работы обычно проводятся внутренние аудиты с целью оценки модернизированной СУОС. Они выполняются самой организацией или внешним консультантом.

На *третьем этапе* проводится сертификация системы управления окружающей средой.

По желанию природопользователя СУОС может быть сертифицирована аккредитованным органом по экологической сертификации (Госстандарт совместно с Минприроды) на соответствие требованиям НПА и ТНПА в области охраны окружающей среды.

Для подтверждения экологической сертификации заявителю выдается сертификат с правом использования экологического знака соответствия, который подтверждает проведение

заявителем всех необходимых процедур по подтверждению соответствия СУОС требованиям НПА в области охраны окружающей среды и природопользования (рис. 11.2).

Экологический знак соответствия наносится на групповую потребительскую тару, может использоваться при оформлении товаросопроводительной документации, рекламных материалов и фирменных бланков. Сертификат соответствия выдается заявителю на три года, действие которого необходимо ежегодно подтверждать.

Иногда управление окружающей средой и соответствующие системы для краткости называют *экологическим менеджментом* или *системами экологического менеджмента*. Однако экологический менеджмент представляет собой более широкую систему отношений и одновременно совокупность методов, управляющих решением многообразных природно-ресурсных и экологических проблем, возникающих на различных уровнях экономической иерархии – от предприятия до общенациональной и глобальной экономики.

Экологический менеджмент обосновывает методы ресурсосбережения и минимизации экологических рисков и тем самым повышает уровень экологической безопасности производства и потребления продукции. Он позволяет выявить пути сокращения издержек и освоения новых рынков, что приводит к повышению конкурентоспособности объектов экономики, а для регионов и стран – повысить качество окружающей природной среды, поддерживать биологическое разнообразие и богатство природных ресурсов с учетом интересов настоящего и будущих поколений.

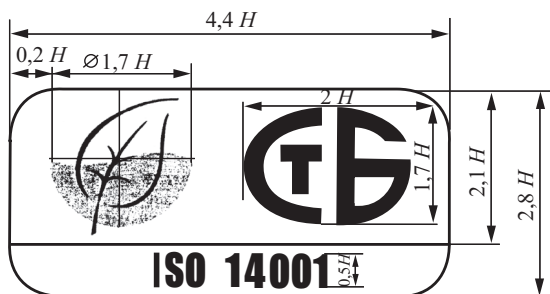


Рис. 11.2. Экологический знак соответствия для системы управления окружающей средой

Таким образом, *экологический менеджмент* – это тип управления, принципиально ориентированный на формирование и развитие экологического производства и экологической культуры жизнедеятельности человека.

## 11.2. Экологическая служба организации

Структура экологической службы природопользователя, состав и численность работников определяются его руководителем в зависимости от характера хозяйственной (иной) деятельности, видов и объемов потребления природных ресурсов, количества структурных подразделений и всех видов негативного воздействия на окружающую среду.

Наиболее целесообразно создавать *экологическую службу организации* (ЭСО) в форме самостоятельного подразделения на наиболее крупных, градообразующих предприятиях, которая может состоять из специалистов в области экологического менеджмента во главе с руководителем службы – ведущим экологом.

Руководитель такой службы обычно подчиняется непосредственно работодателю или по его поручению одному из руководителей организации (по соответствующему приказу руководителя природопользователя).

На таких предприятиях ведущий инженер-эколог осуществляет свою работу совместно с заведующим центральной заводской лаборатории по контролю параметров окружающей среды и качества продукции (при наличии таковой), а также с работниками, ответственными в подразделениях предприятия за вопросы охраны окружающей среды.

Экологическая служба организации может быть следующих типов:

- дифференцированного, где каждый работник отвечает за конкретный вид воздействия на окружающую среду;
- интегрированного;
- смешанного.

*Дифференцированный тип* ЭСО будет состоять из работников, которые курируют вопросы охраны атмосферного воздуха; охраны и рационального использования водных ресурсов; обращения с отходами производства и потребления; охраны и рационального использования ресурсов литосферы. Распределение обязанностей в ЭСО первого типа сходно со структу-

рой государственных органов экологического контроля, наиболее целесообразно для производственных объединений, на которых ЭСО включает более 10 работников. К достоинствам ЭСО этого типа можно отнести доскональное изучение требований и возможностей в определенной области охраны окружающей среды.

Работники ЭСО *интегрированного типа* совместно разрабатывают и реализуют мероприятия, связанные с охраной окружающей среды и рациональным природопользованием. Такой тип ЭСО наиболее целесообразен для средних и мелких организаций.

Работники ЭСО *смешанного типа* могут выполнять обязанности, связанные с контролем различных видов воздействий на окружающую среду, и заниматься экологическими проблемами определенных технологий.

Однако при любой ЭСО важен комплексный подход к осуществлению эффективного управления окружающей средой, в том числе при разработке экологической политики организации, определении основных целей и задач в сфере производственной деятельности, а также в мотивации и контроле.

*Основными задачами ЭСО* являются:

- внедрение комплексного природопользования, включая экологически обоснованные методы использования атмосферных, земельных, водных, минеральных, лесных и других ресурсов;
- внедрение ресурсосберегающих технологий во всех сферах хозяйственной деятельности;
- оснащение организации современным природоохранным оборудованием и приборами контроля;
- развитие системы использования вторичных ресурсов, в том числе переработки отходов;
- широкое использование экологического аудита;
- разработка методик по определению экологических рисков;
- учет в приоритетном порядке интересов и безопасности населения при решении вопросов о потенциально опасных производствах и видах деятельности;
- организация производственного экологического контроля;
- разработка системы чрезвычайного реагирования и системы оповещения на экологически опасных объектах, а также при чрезвычайных ситуациях с негативными экологическими последствиями.

При осуществлении текущей деятельности руководители ЭСО действуют в соответствии с ТНПА. Работники ЭСО несут ответственность за выполнение своих обязанностей в соответствии с положением о ЭСО и должностными инструкциями. На предприятии приказом может быть определено лицо, которое отвечает за организацию работу в области защиты окружающей среды от негативного воздействия данного предприятия, или создано соответствующее подразделение.

Юридическая ответственность лица, выполняющего обязанности по работе в области охраны окружающей среды, наступает после подписания этим лицом приказа руководителя предприятия и должностной инструкции, соответствующей выполняемым обязанностям.

### **11.3. Организация производственного контроля в области охраны окружающей среды**

Одним из инструментов функционирования СУОС предприятия является организация *производственного экологического контроля* (ПЭК). Он включает в себя контроль за использованием и охраной земель (в том числе почвы), недр, состояния и качества поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, лесов, озонового слоя, объектов растительного и животного мира, особо охраняемых природных территорий, типичных и редких природных ландшафтов, контроль за обращением с отходами.

Проведение ПЭК на предприятии является обязательным требованием экологической безопасности производства, несоблюдение которого влечет за собой ответственность в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь.

Организация и ведение ПЭК обязательно для всех природопользователей, как юридических лиц, так и индивидуальных предпринимателей.

Производственный контроль должен осуществляться всеми природопользователями самостоятельно, а при необходимости – с привлечением организаций, имеющих право проводить соответствующие измерения в области охраны окружающей среды.

Руководитель юридического лица (природопользователя) должен назначить ответственное должностное лицо за проведение ПЭК. При необходимости руководитель имеет право создать структурное подразделение для организации ПЭК. Это подразделение подчиняется непосредственно руководителю предприятия или его заместителю, ответственному по приказу за организацию ПЭК. Структура подразделения, состав и численность работников определяет руководитель предприятия в зависимости от вида хозяйственной деятельности, объема выполнения работ по организации и проведению ПЭК, количества производственных объектов.

Производственный экологический контроль осуществляется природопользователями за счет собственных средств, но разрешается привлекать сторонние средства, не запрещенные законодательством Республики Беларусь.

*Основными задачами ПЭК* на предприятии является контроль:

- за выполнением и соблюдением требований законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды;
- проведением обучения, инструктажа и проверки знаний в области охраны окружающей среды и природопользования;
- выполнением мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, предписаний специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды;
- соблюдением лимитов добычи природных ресурсов и эффективностью их использования;
- обращением с опасными веществами, отходами;
- работой природоохранного оборудования и сооружений;
- степенью готовности к аварийным ситуациям, наличием и техническим состоянием оборудования по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- состоянием окружающей среды в зоне воздействия на нее хозяйственной и иной деятельности природопользователя;
- получением информации для составления документации по охране окружающей среды и ее ведением;
- своевременным предоставлением сведений о состоянии и загрязнении окружающей среды, в том числе аварийном, об источниках ее загрязнения, состоянии природных ресурсов, их использовании и охране;

- соблюдением природопользователем нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов сточных вод и лимитов размещения отходов производства;

- номенклатурой и количеством загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от хозяйственной и иной деятельности природопользователя;

- обеспечением своевременной разработки (пересмотра) природопользователем нормативов в области охраны окружающей среды;

- соблюдением режима охраны и использования особо охраняемых природных территорий (при их наличии);

- проведением локального мониторинга окружающей среды.

Производственный экологический контроль может быть плановым и внеплановым.

*Плановый ПЭК* осуществляется согласно плану проверок, разработанному подразделением и утвержденному руководителем юридического лица (природопользователя).

*Внеплановый ПЭК* осуществляется с целью выявления нарушений природопользователем установленных нормативов в области охраны окружающей среды, других требований законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды, невыполнения предъявленных в установленном порядке требований государственных органов и иных организаций, осуществляющих государственный и ведомственный контроль в области охраны окружающей среды.

По результатам ПЭК составляются соответствующие производственные акты, выдаются должностным лицам предписания об устранении нарушений законодательства об охране окружающей среды и информируется руководитель природопользователя для принятия им мер воздействия на виновное лицо. ПЭК осуществляется в порядке, установленном Инструкцией по осуществлению производственного контроля в области охраны окружающей среды, которая разрабатывается природопользователем применительно к собственному производству, утверждается руководителем предприятия и согласовывается в соответствующих органах государственного контроля и надзора.

В Инструкции устанавливается порядок осуществления ПЭК, включая производственный аналитический контроль, в соответствии со спецификой деятельности природопользователя и состоянием окружающей среды в районе воздействия данного предприятия (организации).

Ответственный за проведение ПЭК подчиняется непосредственно руководителю предприятия и обязан немедленно уведомлять его обо всех нарушениях положений инструкции о ПЭК, аварийных ситуациях и иных действиях, могущих нанести вред окружающей среде, а также сообщать о них в территориальные государственные органы контроля и надзора за состоянием окружающей среды.

Кроме ПЭК, на предприятии может быть организован **общественный экологический контроль**. Общественный контроль в области охраны окружающей среды осуществляется общественными организациями, трудовыми коллективами и ставит своей задачей проведение общественной проверки соблюдения юридическими лицами и гражданами природоохранного законодательства, а также выполнения мероприятий по охране, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов.

Порядок организации общественного контроля регулируется законодательством Республики Беларусь, уставами общественных организаций.

## 11.4. Экологическая сертификация

Республика Беларусь активно выступает со своими товарами и услугами на международном рынке. Одним из основных условий международной торговли является экологическая безопасность товаров и услуг. Без сертификата соответствия на экологическую безопасность ни один товар (услуга) в современных условиях не могут быть выпущены на зарубежный рынок.

Сертификация является действенным инструментом реализации государственной политики в области охраны окружающей среды. **Экологическая сертификация** – это деятельность по подтверждению соответствия, осуществляемая органом по экологической сертификации, аккредитованным в Системе аккредитации Республики Беларусь, объектов оценки соответствия требованиям НПА, в том числе ТНПА, в области охраны окружающей среды.

В условиях рыночной экономики сертификация является практически единственным средством защиты потребителя от недобросовестности изготовителей и продавцов, реализующих продукцию, небезопасную для человека и окружающей среды. Для реализации своей продукции на территории Респу-



блики Беларусь изготовитель должен обеспечить соблюдение обязательных требований белорусских государственных стандартов, а если продукция подлежит обязательной сертификации, то и иметь сертификат, подтверждающий ее соответствие установленным требованиям экологической безопасности.

Сертификация может быть обязательной или добровольной. *Обязательная сертификация* – это форма подтверждения соответствия объектов экологической оценки соответствия, включенных в Перечень продукции, услуг, персонала и иных объектов оценки соответствия, подлежащих обязательному подтверждению соответствия в Республике Беларусь, осуществляемая аккредитованным органом по экологической сертификации. *Добровольная сертификация* – это форма подтверждения соответствия объектов экологической оценки соответствия, осуществляемая аккредитованным органом по экологической сертификации по инициативе заявителя. При проведении такой сертификации заявитель сам определяет перечень ТНПА, а также номенклатуру показателей с обязательным включением требований безопасности, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация.

*Целями экологической сертификации* являются:

- удостоверение соответствия объектов экологической оценки соответствия требованиям НПА и ТНПА в области охраны окружающей среды;
- защита потребителей от приобретения (использования) продукции и услуг (в том числе импортных), представляющих опасность для окружающей среды;
- предотвращение загрязнения окружающей среды при производстве, использовании и переработке всех видов продукции;
- содействие внедрению экологически безопасных производств, технологических процессов и оборудования;
- содействие экспорту и повышение конкурентоспособности отечественной продукции;
- выполнение международных обязательств страны в области охраны окружающей среды.

Экологическая сертификация основана на следующих *принципах*:

- открытость – отсутствие ограничений для заявителей на экологическую сертификацию, а также ограничений на доступ к информации о правилах экологической сертификации, деятельности и компетентности органов по экологической сертификации;

- независимость – исключение влияния заинтересованных юридических или физических лиц на результаты экологической сертификации;

- объективность – исключение предоставления преимуществ каким-либо заявителям на экологическую сертификацию;

- компетентность – участники экологической сертификации должны обладать необходимой квалификацией, средствами и полномочиями для выполнения возложенных на них задач.

Орган по экологической сертификации после завершения всех процедур принимает решение о выдаче экологического сертификата соответствия со сроком действия три года.

**Экологический знак соответствия** предназначен для информирования потребителей и других заинтересованных сторон о подтверждении соответствия продукции в рамках Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь.

В настоящее время активно внедряется система маркировки продукции экологическим знаком соответствия по СТБ 1458–2004 и правилам Национальной системы сертификации Республики Беларусь. Изображение экологического знака соответствия представляет собой контур листка темно-зеленого цвета на фоне круга, разделенного на две половины: в верхней половине, выполненной голубым цветом, расположен белый диск, нижняя половина окрашена в светло-зеленый цвет (рис. 11.3). Буквенный код органа, реализующего программу

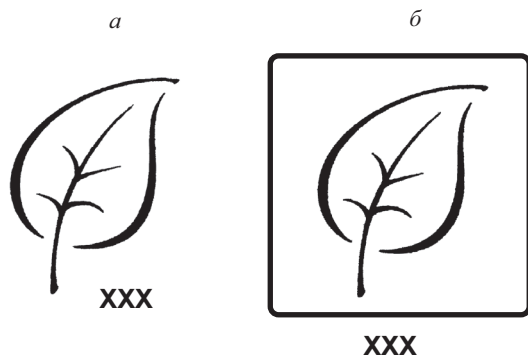


Рис. 11.3. Экологический знак соответствия:

*a* – для групп однородной продукции; *б* – для групп продукции, не имеющей аналогов в Республике Беларусь; xxx – цифровой код органа по экологической маркировке

экологической маркировки, наносят симметрично относительно вертикальной оси знака на месте букв ХХХ под его графическим изображением.

Этими знаками можно маркировать продукцию, эксплуатационную документацию, рекламные материалы заявителя.

## 11.5. Экологическая паспортизация

В соответствии с действующим экологическим законодательством на все действующие и проектируемые объекты хозяйственной деятельности должны быть составлены экологические паспорта предприятий.

*Экологический паспорт* предприятия предназначен:

- для осуществления государственного контроля за соблюдением субъектами хозяйственной и иной деятельности нормативов в области охраны окружающей среды, в том числе технологических нормативов, и иных требований в области охраны окружающей среды;
- комплексного учета используемых природных и вторичных ресурсов;
- определения уровня влияния производства на окружающую среду;
- определения соответствия уровня производства наилучшим доступным техническим образцам.

В паспорте содержится комплекс данных, выраженных через систему показателей, отражающих уровень использования предприятием природных ресурсов и степень воздействия его хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

Экологический паспорт разрабатывается предприятием либо специализированной организацией на договорной основе, утверждается руководителем и передается в территориальный орган Минприроды.

В экологический паспорт предприятия должна быть включена также вся информация об арендаторах (при наличии арендных отношений) с указанием занимаемых площадей и вида деятельности. Каждый арендатор обязан самостоятельно за собственные средства разработать и вести экологический паспорт своего предприятия.

В экологический паспорт природопользователь обязан своевременно вносить дополнения (изменения):

- при реконструкции, расширении, техническом перевооружении, модернизации, изменении профиля и технологии производства;
- по состоянию на 1 января года, следующего за отчетным;
- по письменным замечаниям и предложениям Минприроды или его территориальных органов по утвержденному экологическому паспорту природопользователя;
- при изменении (дополнении) данных, внесенных в экологический паспорт предприятия, в том числе информации об арендаторах.

Изменения и дополнения в экологический паспорт предприятия в одном экземпляре передаются природопользователем в соответствующий территориальный орган Минприроды.

За полноту и достоверность сведений, отраженных в экологическом паспорте предприятия, а также изменения и дополнения к нему несет ответственность руководитель предприятия, утвердивший этот документ.

## 11.6. Экологический аудит

Одним из важных рычагов экологизации управления действующих предприятий является экологический аудит. *Экологический аудит* представляет собой независимую комплексную документированную проверку соблюдения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, требований, в том числе НПА и ТНПА, в области охраны окружающей среды, требований международных стандартов и подготовку рекомендаций по снижению (предотвращению) вредного воздействия такой деятельности на окружающую среду.

В соответствии со ст. 97 Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» экологический аудит проводится в целях обеспечения экологической безопасности, определения путей и способов уменьшения риска вредного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности путем независимой проверки такой деятельности на соответствие требованиям в области охраны окружающей среды и иным показателям, установленным законодательством Республики Беларусь. Экологический аудит проводится за счет средств эконодируемого субъекта.

Экологический аудит проводится при решении следующих задач:

- организация природоохранной деятельности на промышленных и иных предприятиях;
- изменение формы собственности или управления;
- заключение договоров на экологическое страхование;
- финансирование крупных экологических мероприятий или программ;
- инвестирование в природоохранную, хозяйственную и иную деятельность;
- выдача лицензий на отдельные виды деятельности.

*В обязательном порядке* экологический аудит проводится в случаях, предусмотренных законодательными актами, например при приватизации предприятий, а также при банкротстве или ликвидации юридического лица, оказывающего вредное воздействие на окружающую среду.

*В инициативном порядке* экологический аудит проводится по решению заказчика, определяющего цели, направленность и объекты экологического аудита.

Экологический аудит проводится в форме:

- *полного экологического аудита*, т.е. в форме комплексной проверки воздействий на окружающую среду всех направлений хозяйственной и иной деятельности эоаудируемого субъекта, связанных с природопользованием и охраной окружающей среды;

- *специализированного экологического аудита*, т.е. в форме проверки воздействий на отдельные компоненты природной среды всех направлений хозяйственной и иной деятельности эоаудируемого субъекта, связанных с природопользованием и охраной окружающей среды.

Экологический аудит проводится в виде:

- проверки состояния окружающей среды в границах санитарно-защитной зоны объектов эоаудируемого субъекта, в процессе деятельности которого оказывается воздействие на окружающую среду;

- проверки на соответствие требованиям законодательства в области охраны окружающей среды хозяйственной и иной деятельности эоаудируемого субъекта, а также сооружений, производств, цехов и иных объектов, эксплуатация которых оказывает или может оказать воздействие на состояние окружающей среды;

- проверки документации (проектной, технической, технологической, эксплуатационной и др.) на соответствие законодательству в области охраны окружающей среды;
- проверки соответствия инвестиционных проектов законодательству в области охраны окружающей среды;
- оценки возможности возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- оценки вреда, нанесенного окружающей среде.

Экологический аудит должен проводиться аудиторской организацией, имеющей на это специальное разрешение (лицензию), и аттестованными экологическими аудиторами.

В настоящее время в Республике Беларусь для осуществления экологического аудита сформирована правовая и нормативная база, которая активно используется при экологической сертификации производств, продукции, услуг, а также при реализации международных проектов.

### **11.7. Оценка воздействия на окружающую среду и управление риском**

*Оценка воздействия на окружающую среду* (ОВОС) – определение при разработке проектной документации возможного воздействия на окружающую среду при реализации проектных решений, предполагаемых изменений окружающей среды, а также прогнозирование ее состояния в будущем в целях принятия решения о возможности или невозможности реализации проектных решений, в том числе с учетом возможности трансграничного воздействия.

Объекты, для которых обязательна разработка ОВОС, определены в ч. 1 ст. 13 Закона Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе». К таким производствам относят атомную промышленность, металлургию, производство строительных материалов (цемент, стекло, известь, керамика), предприятия химической промышленности и многие другие виды хозяйственной деятельности.

*Основными принципами ОВОС* являются:

- превентивность, означающая проведение ОВОС до принятия решения о реализации планируемой деятельности и использование результатов этой оценки при разработке проектных решений для обеспечения экологической безопасности;
- презумпция потенциальной экологической опасности планируемой деятельности;

- альтернативность, означающая анализ различных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности, включая отказ от ее реализации (нулевая альтернатива);
- комплексность, означающая учет суммарного воздействия на окружающую среду осуществляемой и планируемой деятельности;
- своевременность и эффективность информирования общественности, гласность и учет общественного мнения по вопросам воздействия планируемой деятельности на окружающую среду;
- объективность и научная обоснованность, означающие подготовку отчета об оценке воздействия на окружающую среду беспристрастно и профессионально;
- достоверность и полнота информации, означающие наличие в процессе оценки воздействия как можно более полной информации, способствующей принятию экологически обоснованных решений.

*Целями проведения ОВОС являются:*

- всестороннее рассмотрение всех экологических и связанных с ними социально-экономических и иных последствий планируемой деятельности до принятия решения о ее реализации;
- поиск оптимальных проектных решений, способствующих предотвращению или минимизации возможного значительного вредного воздействия планируемой деятельности на окружающую среду;
- принятие эффективных мер по минимизации возможного значительного вредного воздействия планируемой деятельности на окружающую среду и здоровье человека;
- определение допустимости (недопустимости) реализации планируемой деятельности на выбранном земельном участке.

*Результатами ОВОС являются:*

- основные выводы о характере и масштабах воздействия на окружающую среду альтернативных вариантов размещения и (или) реализации планируемой деятельности;
- описание экологических и связанных с ними социально-экономических и иных последствий реализации планируемой деятельности и оценка их значимости;
- описание мер по предотвращению, минимизации или компенсации возможного значительного вредного воздействия планируемой деятельности на окружающую среду и улучшению социально-экономических условий;

- обоснование выбора приоритетного места размещения объекта, наилучших доступных технических и других решений планируемой деятельности, а также отказа от ее реализации (нулевая альтернатива).

Работы по ОВОС могут выполняться проектными, научно-исследовательскими организациями, независимо от формы собственности.

При проведении ОВОС разработчики обязаны использовать полную, достоверную и актуальную исходную информацию, поверенные и аккредитованные средства и методы измерений, а также утвержденные в установленном порядке методики и расчеты для оценки возможных неблагоприятных последствий реализации планируемой деятельности для окружающей среды и здоровья человека. В случае отсутствия утвержденных в установленном порядке методик для целей ОВОС могут применяться методики и методические подходы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях с обязательным их изложением, или ссылки на их публикацию в отчете об ОВОС.

Оценка воздействия проводится для объекта в целом. Не допускается проведение оценки воздействия для отдельных выделяемых в проектной документации по объекту этапов работ, очередей строительства, пусковых комплексов.

Оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности, в том числе с учетом возможного трансграничного воздействия, организуется и финансируется заказчиком. По результатам проведения ОВОС готовится отчет.

При разработке проектной документации учитываются все выводы и предложения отчета об ОВОС. На следующих стадиях проектирования проектные решения в части использования природных ресурсов и охраны окружающей среды должны соответствовать выводам и предложениям отчета об ОВОС, в противном случае требуется повторное проведение процедуры ОВОС.

Методика оценки значимости воздействия планируемой деятельности на окружающую среду основывается на определении показателей пространственного масштаба воздействия и значимости изменений в результате этого воздействия в баллах. Общая оценка значимости производится путем умножения баллов по каждому из трех показателей. Дополнительно могут быть введены весовые коэффициенты значимости каждого показателя в общей оценке.



Общее количество баллов в пределах 1–8 характеризует ОВОС как воздействие низкой значимости, 9–27 – воздействие средней значимости, 28–64 – воздействие высокой значимости.

**Экологический риск** – это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды и вызванного вредным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Другими словами, экологический риск является количественной характеристикой экологической опасности объекта, оцениваемой произведением вероятности возникновения нежелательных событий на ущерб, причиненный природной среде ими и их непосредственными последствиями. Таким образом, понятие «риск» объединяет два понятия – «вероятность возникновения» и «ущерб».

**Оценка экологического риска** – это научное исследование, в котором фактические материалы и научный прогноз используются для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей производственного объекта для окружающей природной среды, здоровья и имущества людей.

Известны несколько методик комплексной оценки риска, связанных с воздействием на окружающую среду продукции на стадиях жизненного цикла (методики «Экоиндикатор-95» и «Экоиндикатор»). Их детальное рассмотрение не входит в задачи учебного пособия.

Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты) реализации опасностей, анализ последствий и их сочетания. Она является составной частью управления безопасностью объекта и используется при декларировании и экспертизе промышленной безопасности, страховании и других процедурах, связанных с анализом безопасности объекта.

Анализ риска состоит из идентификации вероятных опасностей, оценки риска и разработки рекомендаций по его снижению. В основу анализа закладывается *приемлемый риск*, т.е. риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от его эксплуатации, общество готово пойти на этот риск.

При идентификации учитываются все источники опасностей и факторы риска, а также перечень, условия возникновения и сценарии нежелательных событий.

Оценка риска сводится к определению частоты возникновения инициирующих и всех нежелательных событий, анализу и обобщению их последствий.

Для определения частоты нежелательных событий используются статистические данные по аварийности и надежности технологических систем, логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения нежелательных событий, а также экспертные оценки специалистов в данной области.

Анализ последствий включает оценку возможных воздействий вероятных опасностей на производственные здания, сооружения, технологическое оборудование, персонал, население, имущество людей и природную среду.

Разработка рекомендаций по снижению риска является заключительной стадией анализа риска, в них представляются обоснованные организационные и технические мероприятия. При этом большое значение имеют размеры экономических затрат на их реализацию.

*Управление экологическим риском* является процедурой принятия решения, в котором учитываются результаты проведенной оценки риска, а также экономические, технологические и организационные возможности его предупреждения. Таким образом, в целом структуру оценки экологической безопасности и управления риском можно представить следующей схемой (рис. 11.4).

Концепция оценки риска переводит социально-психологические проблемы общества в плоскость количественных оценок. Это непривычно, так как жизнь человека бесценна. Однако на практике существует вполне четкое понятие стоимости человеческой жизни, определяемой затратами на рождение, воспитание, образование, а также получаемым человеком доходом и т.д. Эту стоимость приходится учитывать при страховании и при оценке экономического ущерба, наносимого гибелью людей во время катастроф. Например, стоимость жизни одного жителя США при авиакатастрофах оценивается суммой в 600–800 тыс. дол. По оценкам ГАИ для нашей страны она составляет 278 тыс. дол., а по подсчетам независимых экспертов – 135 тыс. дол.

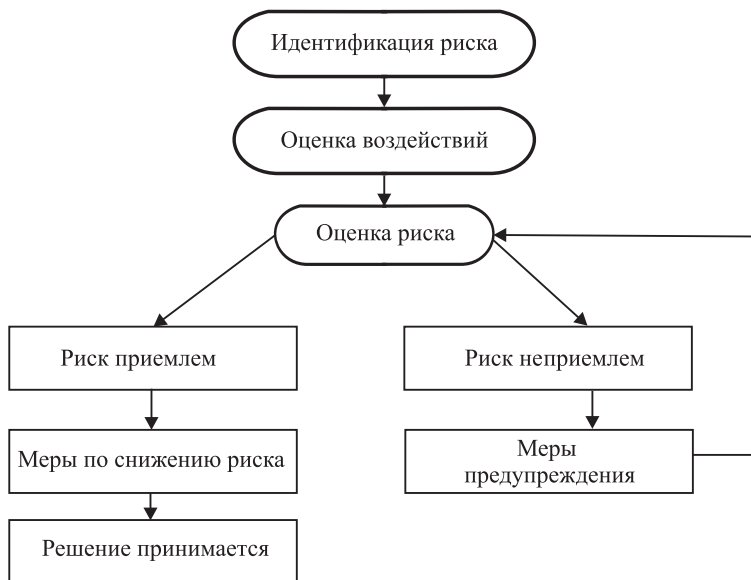


Рис. 11.4. Схема управления риском

Поэтому, когда ставится вопрос о приемлемом риске строительства опасного производственного объекта, необходимо учитывать не только издержки деградации природной среды, ухудшение здоровья населения, производственные потери природопользователя, но и возможную гибель людей.

## 11.8. Экологическая экспертиза

Одним из основных направлений защиты окружающей природной среды от техногенной деятельности является экологическая экспертиза проектной документации на строительство и реконструкцию хозяйственных объектов.

**Экологическая экспертиза** – это проверка соответствия проектных решений планируемой хозяйственной и иной деятельности требованиям законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды.

**Государственная экологическая экспертиза** в Республике Беларусь является обязательным элементом процесса планирования, проектирования и принятия решений по вопросам социально-экономического развития регионов и страны в целом.

Государственная экологическая экспертиза проводится с соблюдением следующих основных принципов:

- предотвращения вредного воздействия на окружающую среду;
- обязательности проведения государственной экологической экспертизы до утверждения проектной или иной документации по объектам государственной экологической экспертизы;
- учета суммарного вредного воздействия на окружающую среду осуществляемой и планируемой хозяйственной и иной деятельности;
- достоверности и полноты информации, содержащейся в проектной и иной документации, предоставляемой на государственную экологическую экспертизу;
- законности и объективности заключений государственной экологической экспертизы;
- гласности и учета общественного мнения.

В материалах, предоставляемых на государственную экологическую экспертизу, должны присутствовать результаты общественных слушаний по рассматриваемому объекту.

По результатам проведения государственной экологической экспертизы составляется Заключение государственной экологической экспертизы, которое может быть как положительным, так и отрицательным. Исполнение условий Заключения государственной экологической экспертизы является обязательным для генерального проектировщика и заказчика.

В случае получения отрицательного заключения государственной экологической экспертизы заказчик и (или) проектная организация обязаны изменить проектное решение с учетом замечаний данного заключения и предоставить его на повторное согласование в органах государственной экологической экспертизы в том случае, если заказчик планируемой хозяйственной деятельности не отказывается от ее реализации.

Утверждение проектной и иной документации другими согласующими министерствами и ведомствами, а также финансирование и реализация проектных решений без положительного заключения государственной экологической экспертизы запрещаются, если иное не установлено Президентом Республики Беларусь.

Проекты, подвергающиеся государственной экологической экспертизе, могут сопровождаться общественной экологической экспертизой.

**Общественная экологическая экспертиза** – это установление соответствия или несоответствия проектной документации требованиям законодательства об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов, осуществляемое по заявлению инициатора.

Инициаторами общественной экологической экспертизы (далее – инициаторы) могут быть зарегистрированные в Республике Беларусь общественные объединения, осуществляющие деятельность в области охраны окружающей среды, и (или) граждане Республики Беларусь, вносящие предложения о проведении общественной экологической экспертизы проектной документации по планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая является объектом общественной экологической экспертизы.

Для проведения общественной экологической экспертизы инициаторами привлекаются специалисты, имеющие соответствующую квалификацию и опыт работы в той области знаний, в которой будет назначаться экспертиза.

Общественная экологическая экспертиза может проводиться одним специалистом или группой специалистов, созданной инициатором. Результаты общественной экологической экспертизы оформляются специалистами в виде заключения по проектной документации.

Несмотря на то, что заключение носит рекомендательный характер, оно прилагается к проектной документации, представляемой на государственную экологическую экспертизу, и рассматривается органом, уполномоченным ее проводить, при подготовке заключения государственной экологической экспертизы.

Государственная экологическая экспертиза предшествует государственной экспертизе градостроительных, архитектурных и строительных проектов обоснования инвестирования в строительство или может проводиться параллельно.

**Государственная экспертиза проектных решений** осуществляется органами Госстройэкспертизы в соответствии с действующим Положением.

Основной задачей экспертизы является установление:

- соответствия представленных материалов Закону Республики Беларусь «Об архитектурной, строительной и градостроительной деятельности в Республике Беларусь», природоохранному законодательству;

- наличия и анализ исходных данных на разработку проектно-сметной документации;
- полноты и достаточности разработанной документации согласно законодательству и нормативным требованиям в области охраны окружающей среды и экологической безопасности, заданию на проектирование заказчика, архитектурно-планировочному заданию (АПЗ), техническим условиям и т.д.;
- полноты и обоснованности выданных данных на проектирование;
- наличия, уровня и эффективности прогрессивных проектных ресурсосберегающих решений и мероприятий;
- наличия обоснованных технических решений и мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов, предотвращению загрязнения окружающей среды, предупреждению аварийных ситуаций и ликвидации их последствий;
- эффективности технических решений и технико-экономических показателей природоохранных мероприятий.

По результатам проведения государственной экспертизы составляется экспертное заключение, в котором одним из разделов входит экспертиза на соответствие принятых проектных решений природоохранному законодательству. Порядок оформления экспертного заключения устанавливается Государственным комитетом по стандартизации. Экспертное заключение может быть положительным или отрицательным. В случае получения отрицательного заключения заказчик обязан в установленные сроки внести все изменения и исправления в проектно-сметную документацию и повторно пройти процедуру государственной экспертизы.

Проведение строительных работ запрещается при отсутствии у заказчика положительного заключения государственной экспертизы.

## 11.9. Экологическое страхование

Физическая и моральная изношенность технологического оборудования большинства крупнейших промышленных предприятий страны создает реальную угрозу возникновения техногенных экологических катастроф. Кроме того, не искоренены и экологические правонарушения, чреватые серьезными последствиями негативного характера для экономики и социальной сферы государства. Поэтому в соответствии со ст. 85

Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» планируется ввести обязательное страхование гражданской ответственности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по защите имущественных интересов граждан и организаций, а также страны и ее административно-территориальных единиц при причинении экологического вреда.

*Экологическое страхование* осуществляется в соответствии с законодательством Республики Беларусь о страховании.

*Основной задачей* экологического страхования является аккумуляция и перераспределение финансовых средств для их дальнейшего использования на реальное возмещение ущерба, причиненного окружающей среде, проведение предупредительных мероприятий, а также снижение расходов средств бюджетов всех уровней на ликвидацию последствий загрязнения окружающей среды вследствие аварийных или иных случаев. При этом бюджет освобождается от расходов на возмещение убытков. Появляется один из наиболее стабильных источников долгосрочных инвестиций в сферы, связанные с сохранением окружающей среды; проведением мероприятий по обеспечению защиты населения и территорий страны от негативного антропогенного воздействия; повышением экологической безопасности хозяйственной деятельности природопользователей; оздоровлением экологической обстановки в регионах.

Экологическое страхование как система страхования различных видов рисков в сфере природопользования и охраны окружающей среды может осуществляться как в обязательной, так и в добровольной форме. Такими видами могут быть:

- страхование ответственности хозяйствующих субъектов за вред, причиненный загрязнением окружающей среды;
- страхование ответственности природопользователей за ненадлежащее выполнение обязательств по договорам природопользования;
  - страхование финансовых рисков природопользователей;
  - страхование природных ресурсов, на которые имеются права собственности;
- страхование имущества юридических и физических лиц от негативного воздействия загрязненной окружающей среды;
- страхование физических лиц от несчастных случаев и болезней в связи с вредным воздействием загрязненной окружающей среды.

*Страховая защита* должна включать:

- расходы на мероприятия по расчистке территории, которые необходимо произвести после страхового случая;
- расходы на оценку затрат и составление сметы на проведение восстановительных работ;
- расходы на восстановление природной среды в соответствии со сметой проведения восстановительных работ;
- возмещение вреда, причиненного жизни и здоровью граждан в результате негативного воздействия загрязненной окружающей среды.

Система экологического страхования может включать следующие направления:

- *страхование ответственности* (например, ответственность предприятий и учреждений, являющихся источниками повышенной опасности за причинение вреда окружающей природной среде, ответственность перевозчика (опасных грузов) и др.);
- *имущественное страхование* (например, страхование земельных объектов на случай нанесения им вреда вследствие экологической аварии или катастрофы);
- *личное страхование* граждан (например, страхование жизни и здоровья работников предприятий и учреждений, относящихся к категории источников повышенной опасности). Оно является важной составляющей системы социальной защиты человека.

Экологические риски могут быть вызваны не только аварийным, но и постепенным негативным воздействием объекта на окружающую среду. Причем эти изменения в окружающей среде могут проявляться не только в виде загрязнения отдельных ее компонентов, истощения или уничтожения природных ресурсов, но также в виде деградации и разрушения местообитаний флоры и фауны, необратимых изменений естественных экологических систем, уничтожения в целом природных комплексов и ландшафтов.

*Обязательное страхование* осуществляется в отношении риска ответственности за причинение вреда населению, а также в отношении жизни и здоровья определенных групп (категорий) граждан в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь. Обязательное экологическое страхование будет проводиться путем включения экологических рисков в перечень страховых рисков, подлежащих обязательно страхованию определенными категориями предприятий – источников повышенной экологической опасности.



Опыт государств ЕС свидетельствует о том, что система страхования экологических рисков позволяет компенсировать до 40% причиняемых убытков при сохранении достаточно высокой финансовой устойчивости страховых операций. К тому же заинтересованность страховщика в получении максимальной прибыли обеспечивает дополнительный мониторинг состояния природоохранного оборудования у страхователя.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. В чем заключается система управления окружающей средой?
2. Какие основные обязанности у должностного лица, ответственного за функционирование СУОС в подразделении?
3. Опишите структуру и основные задачи экологической службы природопользователя.
4. Как организуют производственный контроль в области охраны окружающей среды на предприятии? Что входит в его задачи?
5. Каково содержание инструкции по организации производственного экологического контроля предприятия?
6. Какие цели преследует экологическая сертификация? Назовите ее виды.
7. Для чего предназначен экологический паспорт предприятия?
8. Охарактеризуйте содержание и основные разделы экологического паспорта.
9. Что представляет собой экологический аудит и для чего он проводится?
10. Какие требования предъявляются к экологической аудиторской организации?
11. Как проводится оценка воздействия на окружающую среду и что она включает?
12. Что такое риск, его виды и как осуществляется управление риском?
13. Какие бывают виды экологической экспертизы проектов и как они проводятся?
14. Каковы основные задачи экологического страхования и его виды?

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

- Акимова, Т.А.* Экология / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. М., 2000.
- Акинин, Н.И.* Промышленная экология: принципы, подходы, технические решения / Н.И. Акинин. Долгопродный, 2011.
- Бигон, М.* Экология. Особи, популяции и сообщества: в 2 т. / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. М., 1986.
- Вернадский, В.И.* Биосфера (избранные труды по биогеохимии) / В.И. Вернадский. М., 1967.
- Вернадский, В.И.* Научная мысль как планетарное явление / В.И. Вернадский. М., 1991.
- Вернадский, В.И.* Размышления натуралиста / В.И. Вернадский. М., 1977.
- Вернадский, В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. М., 1965.
- Вернадский, В.И.* Химический состав живого вещества / В.И. Вернадский. Пг., 1922.
- Баландин, Р.К.* Область деятельности человека. Техносфера / Р.К. Баландин. Минск, 1982.
- Гиляров, А.М.* Популяционная экология / А.М. Гиляров. М., 1990.
- Голубев, А.П.* Основы количественной экологии / А.П. Голубев. Минск, 2007.
- Горшков, В.Г.* Энергетика биосферы / В.Г. Горшков. Л., 1982.
- Дажо, Р.* Основы экологии / Р. Дажо. М., 1975.
- Данилов-Данильян, В.И.* Перед главным выбором цивилизации / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев, И.Е. Рейф. М., 2005.
- Камшилов, М.М.* Биотический круговорот / М.М. Камшилов. М., 1970.
- Колчинский, Э.И.* Эволюция биосферы / Э.И. Колчинский. Л., 1990.
- Маврищев, В.В.* Основы экологии / В.В. Маврищев. Минск, 2007.
- Маргулис, Л.* Роль симбиоза в эволюции клетки / Л. Маргулис. М., 1983.
- Медников, Б.М.* Аксиомы биологии / Б.М. Медников. М., 1986.
- Моисеев, Н.Н.* Человек и ноосфера / Н.Н. Моисеев. М., 1990.
- Найдыш, В.М.* Концепции современного естествознания / В.М. Найдыш. М., 2004.
- Одум, Ю.* Основы экологии / Ю. Одум. М., 1975.
- Одум, Ю.* Экология: в 2 т. / Ю. Одум. М., 1986.

- Пианка, Э.* Популяционная экология / Э. Пианка. М., 1981.
- Реймерс, Н.Ф.* Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н.Ф. Реймерс. М., 1994.
- Северцов, А.С.* Теория эволюции / А.С. Северцов. М., 2005.
- Сукачев, В.Н.* Растительные сообщества. Введение в фитоценологию / В.Н. Сукачев. М., 1928.
- Тимофеев-Ресовский, Н.В.* Краткий очерк теории эволюции / Н.В. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Воронцов, А.В. Яблоков. М., 1977.
- Уиттекер, Р.* Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. М., 1980.
- Челноков, А.А.* Основы экологии / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко, И.Н. Жмыхов. Минск, 2012.
- Шилов, Н.А.* Экология / Н.А. Шилов. М., 1998.
- Lovelock, J.* Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. / J. Lovelock, L. Margulis. Tellus, 26, 1974.

### Дополнительная

- Баландин, Р.К.* Организм биосферы и механизм техносферы / Р.К. Баландин // Вопросы истории естествознания и техники. 1993. № 1.
- Баландин, Р.К.* Ноосфера или техносфера / Р.К. Баландин // Вопросы философии. 2005. № 6.
- Будыко, М.И.* Глобальная экология / М.И. Будыко. М., 1977.
- Буторина, М.В.* Инженерная экология и экологический менеджмент / М.В. Буторина, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др. М., 2011.
- Вернадский, В.И.* Автотрофность человечества / В.И. Вернадский. М., 1993.
- Вернадский, В.И.* Размышления натуралиста / В.И. Вернадский. М., 1977. Кн. 1, 2.
- Вешняцкий, Л.* Человек в лабиринте эволюции / Л. Вешняцкий. М., 2004.
- Гаузе, Г.Ф.* Экология и некоторые проблемы происхождения видов / Г.Ф. Гаузе. Л., 1984.
- Горелов, А.А.* Экология: конспект лекций / А.А. Горелов. М., 2008.
- Горшков, В.В.* Информация в живой и неживой природе / В.В. Горшков // Экология. 2002. № 3.
- Горшков, В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни / В.Г. Горшков. М., 1995.
- Дедю, И.И.* Экологический энциклопедический словарь / И.И. Дедю. Кишинев, 1989.
- Докучаев, В.В.* К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны / В.В. Докучаев, СПб., 1899.

Доклад «О стратегических оценках последствий изменений климата в ближайшие 10–20 лет для природной среды и экономики Союзного государства». М., 2009.

*Еськов, К.Ю.* История Земли и жизни на ней / К.Ю. Еськов. М., 2000.

Здоровье населения Республики Беларусь. Статистический сборник. Минск, 2011.

Здравоохранение в Республике Беларусь. Официальный статистический сборник за 2011 г. Минск, 2012.

*Камшилов, М.М.* Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. М., 1974.

*Кашкаров, Д.Н.* Среда и сообщество (основы синэкологии) / Д.Н. Кашкаров. М., 1933.

*Кашкаров, Д.Н.* Среда и сообщество (основы экологии животных) / Д.Н. Кашкаров. М.; Л., 1938.

*Майр, Э.* Популяции, виды и эволюция / Э. Майр. М., 1974.

*Майсурия, А.А.* Развитие в природе, культуре и истории / А.А. Майсурия. М., 2000.

*Моисеев, Н.Н.* Еще раз о проблеме коэволюции / Н.Н. Моисеев // Вопросы философии. 1998. № 8.

*Полужтков, П.А.* Динамическая теория биологических популяций / П.А. Полужтков. М., 1974.

Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / под общ. ред. В.Ф. Логинова. Минск, 2004.

*Реймерс, Н.Ф.* Природопользование. Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. М., 1990.

*Розенберг, Г.С.* Теоретическая и прикладная экология / Г.С. Розенберг, Ф.Н. Рянский. Нижневартовск, 2005.

*Саевич, К.Ф.* Охрана возобновимых ресурсов / К.Ф. Саевич. Минск, 1992.

*Саевич, К.Ф.* Рациональное использование лесных ресурсов / К.Ф. Саевич. Минск, 1990.

*Смирнов, С.В.* Структурирование ноосферогенеза в контексте ноосферной концепции / Проблемы человека в свете современных социально-философских наук. М., 2005. Вып. 3.

Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень, 2012. Минск, 2013.

*Стадницкий, Г.В.* Экология / Г.В. Стадницкий, А.В. Родионов. СПб., 1997.

*Тетиор, А.Н.* Строительная экология / А.Н. Тетиор. Киев, 1992.

*Челноков, А.А.* Основы промышленной экологии / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. Минск, 2001.

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

*Челноков, А.А.* Охрана окружающей среды / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. Минск, 2008.

*Челноков, А.А.* Основы промышленной экологии. Лабораторно-практические работы / А.А. Челноков. Минск, 2001.

*Челноков, А.А.* Охрана окружающей среды и энергосбережение / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. Минск, 2011.

*Фоули, Р.* Еще один неповторимый вид. Экологические аспекты эволюции человека / Р. Фоули. М., 1990.

*Шварц, С.С.* Экологические закономерности эволюции / С.С. Шварц. М., 1980.

*Швейцер, А.* Благоговение перед жизнью как основа миро- и жиз-неутверждения / А. Швейцер. М., 1992.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений .....	3
От авторов .....	8
<b>ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ</b> .....	<b>13</b>
1.1. Краткая история становления экологии как науки .....	13
1.2. Предмет, задачи и методы современной экологии. ....	20
1.3. Структура экологии и ее связь с другими научными дисциплинами .....	28
1.3.1. Аутэкология .....	32
1.3.1.1. Вид, особь, организм .....	33
1.3.1.2. Среда обитания видов, особей и организмов. . . .	39
1.3.2. Демэкология, или популяционная экология .....	45
1.3.2.1. Популяция .....	46
1.4. Эволюция популяции .....	69
1.4.1. Внутривидовые отношения в популяции .....	69
1.4.2. Межвидовые отношения популяций .....	80
1.4.3. Экологические стратегии популяций. ....	89
1.5. Синэкология сообществ .....	91
1.5.1. Структура и видовой состав биотического сообщества . . .	94
1.5.1.1. Структура сообщества .....	94
1.5.1.2. Видовой состав сообщества. ....	97
1.6. Принципы теории систем в экологии .....	108
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	112
<b>ГЛАВА 2. ЭКОСИСТЕМЫ</b> .....	<b>113</b>
2.1. Понятие экосистемы и биогеоценоза .....	113
2.2. Классификация экосистем .....	116
2.3. Структурно-функциональная организация экосистемы . . .	117
2.3.1. Трофическая структура и поток энергии в экосистеме. . .	118
2.3.2. Продуктивность экосистем .....	132
2.3.3. Динамика и эволюция экосистем .....	136
2.4. Средообразующие факторы экосистемы .....	144
2.4.1. Абиотические факторы .....	149
2.4.1.1. Климатические (физические) факторы. ....	151
2.4.1.2. Эдафические факторы .....	173
2.4.2. Биотические факторы .....	183
2.4.2.1. Зоогенные факторы. ....	183
2.4.2.2. Фитогенные факторы .....	185

2.5. Совместное действие экологических факторов на организмы . . .	192
<i>Контрольные вопросы и задания</i> . . . . .	195
<b>ГЛАВА 3. БИОСФЕРА</b> . . . . .	196
3.1. Основные черты и структура биосферы . . . . .	196
3.2. Живое вещество биосферы и его планетарная роль . . . . .	202
3.3. Эволюция биосферы . . . . .	207
3.4. Движение вещества и энергии в биосфере . . . . .	217
3.4.1. Круговорот веществ в биосфере . . . . .	217
3.4.2. Основные закономерности движения энергии в биосфере . . . . .	227
3.4.3. Энергетика биосферы . . . . .	229
3.5. Антропогенные факторы . . . . .	238
3.5.1. Классификация антропогенных факторов . . . . .	241
3.5.2. Агрэкосистемы . . . . .	244
3.5.3. Урбозкосистемы . . . . .	251
<i>Контрольные вопросы и задания</i> . . . . .	259
<b>ГЛАВА 4. ТЕХНОСФЕРА И НООСФЕРА</b> . . . . .	260
4.1. Техносфера и техновещество . . . . .	260
4.2. Эволюция техносферы и техносферогенез . . . . .	264
4.3. Ноосфера и ноосферогенез . . . . .	277
4.3.1. Ноосферогенез . . . . .	288
4.3.2. Козволюция человек – биосфера . . . . .	294
4.3.3. Концепция Геи и ноосферогенез . . . . .	299
<i>Контрольные вопросы и задания</i> . . . . .	309
<b>ГЛАВА 5. АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ</b> . . . . .	310
5.1. Основные виды антропогенных воздействий и их влияние на биоту . . . . .	310
5.2. Информация и информационное загрязнение . . . . .	331
5.3. Источники загрязнения окружающей среды . . . . .	337
5.4. Характеристика и показатели опасности вредных веществ . . . . .	339
5.5. Загрязнение природной среды и его влияние на биосферу . . . . .	346
5.5.1. Атмосфера . . . . .	346
5.5.1.1. Влияние метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферы . . . . .	346
5.5.1.2. Трансформация загрязняющих веществ в атмосфере . . . . .	356
5.5.1.3. Загрязнение атмосферы . . . . .	363
5.5.2. Литосфера . . . . .	365

5.5.2.1. Экологическая химия почв . . . . .	365
5.5.2.2. Деградация почв . . . . .	372
5.5.3. Гидросфера . . . . .	379
5.5.3.1. Водопотребление и водоотведение . . . . .	379
5.5.3.2. Трансформация загрязняющих веществ в гидросфере . . . . .	381
5.5.4. Состояние биологических ресурсов . . . . .	387
5.6. Окружающая среда и состояние здоровья населения . . . . .	394
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>400</i>

## **ГЛАВА 6. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ . . . . . 401**

6.1. Экологические кризисы и катастрофы . . . . .	401
6.2. Глобальное и региональное изменение климата . . . . .	406
6.3. Истощение озонового слоя . . . . .	413
6.4. Демографический кризис . . . . .	416
6.5. Кислотные дожди . . . . .	423
6.6. Последствия экстремальных воздействий на биосферу . . . . .	425
6.6.1. Основные понятия и определения . . . . .	425
6.6.2. Катастрофы природного характера . . . . .	427
6.6.3. Техногенные катастрофы . . . . .	429
6.6.4. Вооруженные конфликты . . . . .	431
6.6.4.1. Общие сведения . . . . .	431
6.6.4.2. Оружие массового поражения . . . . .	434
6.6.4.3. Экологические войны . . . . .	441
6.6.5. Информационные войны . . . . .	443
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>450</i>

## **ГЛАВА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ . . . . . 451**

7.1. Природопользование и его виды . . . . .	451
7.2. Классификация природных ресурсов . . . . .	455
7.3. Основные принципы экологической безопасности . . . . .	458
7.4. Ресурсный цикл как техногенный круговорот веществ . . . . .	461
7.5. Оценка жизненного цикла продукции . . . . .	464
7.6. Экологизация производства и ее оценка . . . . .	468
7.7. Энергосбережение и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов в промышленности . . . . .	473
7.8. Рациональное потребление . . . . .	478
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>483</i>



<b>ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> . . . . .	484
8.1. Нормирование качества окружающей природной среды . . .	484
8.1.1. Общие сведения . . . . .	484
8.1.2. Атмосферный воздух . . . . .	486
8.1.3. Физические воздействия . . . . .	489
8.1.4. Воды водоемов . . . . .	490
8.1.5. Почвы . . . . .	494
8.2. Нормирование поступления загрязняющих веществ в окружающую среду . . . . .	496
8.2.1. Нормативы допустимых выбросов в атмосферу и категорирование объектов воздействия на атмосферный воздух . . .	496
8.2.2. Нормативы сбросов в водоемы . . . . .	499
8.2.3. Нормативы образования отходов . . . . .	500
<i>Контрольные вопросы и задания</i> . . . . .	503
<b>ГЛАВА 9. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> . . . . .	504
9.1. Защита атмосферного воздуха . . . . .	504
9.1.1. Общие сведения . . . . .	504
9.1.2. Обработка газовоздушных выбросов . . . . .	506
9.1.2.1. Общие положения . . . . .	506
9.1.2.2. Пылеулавливание . . . . .	508
9.1.2.3. Обработка выбросов от газообразных и парообразных примесей . . . . .	512
9.1.3. Биотехнологические методы защиты атмосферного воздуха . . . . .	515
9.2. Защита водных объектов . . . . .	520
9.2.1. Общие сведения . . . . .	520
9.2.2. Зонирование территории водных объектов . . . . .	522
9.2.3. Обработка и очистка сточных вод . . . . .	526
9.3. Защита литосферы и обращение с отходами . . . . .	534
9.3.1. Охрана земель . . . . .	534
9.3.2. Обращение с отходами производства и потребления . . .	537
9.3.2.1. Общие сведения . . . . .	537
9.3.2.2. Использование отходов производства . . . . .	540
9.3.2.3. Обращение с отходами потребления . . . . .	551
9.3.3. Охрана недр . . . . .	554
9.3.4. Рекультивация использованных земель . . . . .	556
9.4. Защита окружающей среды от физических воздействий . . .	559
9.4.1. Основные методы и средства защиты от шума и вибрации . . . . .	559
	653

9.4.2. Средства и методы защиты от воздействия электромагнитных полей . . . . .	563
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>567</i>

**ГЛАВА 10. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. . . . . 569**

10.1. Основные направления и принципы государственной политики в области охраны окружающей среды . . . . .	569
10.2. Национальная стратегия устойчивого развития страны . . . . .	572
10.3. Государственное управление и контроль в области охраны окружающей среды . . . . .	581
10.4. Правовые акты по природопользованию и охране окружающей среды . . . . .	584
10.4.1. Основные положения законодательства . . . . .	584
10.4.2. Технические нормативные правовые акты . . . . .	588
10.5. Права и обязанности природопользователей по охране окружающей среды . . . . .	590
10.6. Ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования. . . . .	593
10.7. Организация экологического мониторинга . . . . .	597
10.8. Экономика управления природопользованием и охраной окружающей среды . . . . .	603
10.8.1. Экономический механизм природопользования. . . . .	603
10.8.2. Возмещение вреда, причиненного окружающей среде . . . . .	609
10.9. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды . . . . .	613
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>618</i>

**ГЛАВА 11. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ. . . . . 620**

11.1. Система управления окружающей средой на производстве . . . . .	620
11.2. Экологическая служба организации . . . . .	623
11.3. Организация производственного контроля в области охраны окружающей среды . . . . .	625
11.4. Экологическая сертификация . . . . .	628
11.5. Экологическая паспортизация . . . . .	631
11.6. Экологический аудит . . . . .	632
11.7. Оценка воздействия на окружающую среду и управление риском . . . . .	634
11.8. Экологическая экспертиза . . . . .	639
11.9. Экологическое страхование . . . . .	642
<i>Контрольные вопросы и задания . . . . .</i>	<i>645</i>
<i>Литература . . . . .</i>	<i>646</i>

**УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ,  
ДИССЕРТАЦИИ -**

полные тексты

На сайте электронной библиотеки  
[www.учебники.информ2000.pф](http://www.учебники.информ2000.pф)

**НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:**

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты,  
чертежи...

3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе

**ТЕХНИКА**

Приглашаем авторов

**Челноков, А. А.**

Ч-41    Общая и прикладная экология : учеб. пособие /  
А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко ; под общ.  
ред. К. Ф. Саевича. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. –  
654 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2400-0.

Изложены основные глобальные экологические проблемы XXI в., свойства, законы и принципы функционирования экологических систем, биосферы и техносферы, важнейшие положения современной экологии, строение биосферы, роль живого вещества на планете и т.д. Рассматриваются основные среды жизни и адаптации к ним организмов, экологии популяций, сообществ и экосистем, дается концепция ноосферы, освещаются вопросы антропогенного воздействия на природу в целом и на отдельные ее компоненты.

Для студентов учреждений высшего образования, магистрантов, слушателей системы последиplomного образования, а также руководителей, специалистов, проектировщиков, работников служб охраны окружающей среды предприятий и организаций различных отраслей.

УДК 574(075.8)

ББК 20.1я73

Вернуться в каталог учебников

<http://учебники.информ2000.pф/учебники.shtml>

Учебное издание

**Челноков** Александр Антонович  
**Саевич** Константин Федорович  
**Ющенко** Людмила Федоровна

## **ОБЩАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Учебное пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*  
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*  
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*  
Корректоры *Т.В. Кульнис, Т.К. Хваль, Н.Г. Баранова*  
Компьютерная верстка *Ю.Н. Трусевич*

Подписано в печать 23.10.2014. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Times New Roman». Офсетная печать. Усл. печ. л. 34,44.  
Уч.-изд. л. 35,85. Тираж 400 экз. Заказ 1809.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.  
e-mail: [market@vshph.com](mailto:market@vshph.com) <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Красная звезда».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, производителя  
и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.

Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073, Минск.  
Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.