

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Челябинский государственный университет»

С. Ф. ЛИХАЧЕВ, А. Р. СИБИРКИНА

# ЭКОЛОГИЯ

Курс лекций

Челябинск  
Издательство Челябинского государственного университета  
2023

УДК 502  
ББК Б1я7  
Л651

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Челябинского государственного университета

Рецензенты:  
кафедра геоэкологии и природопользования  
Тюменского государственного университета;  
*А. В. Синдирева*, доктор биологических наук, доцент

**Лихачев, С. Ф.**

Л651 Экология : курс лекций / С. Ф. Лихачев, А. Р. Сибиркина. —  
Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2023. — 202 с.  
ISBN 978-5-7271-1890-0

Излагаются научно-практическая роль и основы прикладной экологии, приводятся основные экологические понятия и определения, рассматриваются теоретические основы изучения Земли, биосферы, а также экологических проблем.

Курс лекций содержит материал по дисциплине «Экология» и предназначен для аспирантов направления подготовки «Экология», подходит для самообразования студентов и магистрантов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование».

УДК 502(075.8)  
ББК Б1я73-2

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ТЕМА 1. Предмет, методы и задачи экологии</b> . . . . .	5
1. Понятия, объекты и методы изучения в экологии . . . . .	5
2. Структура биосферы и экосферы . . . . .	10
3. Живые системы . . . . .	13
4. Клетка как саморегулируемая система . . . . .	18
5. Организм как дискретная самоорганизующаяся система . . . . .	19
<b>ТЕМА 2. Учение В. И. Вернадского о биосфере</b> . . . . .	38
1. Структура биосферы и экосферы . . . . .	38
2. Строение биосферы. Структура атмосферы, гидросферы, литосферы	42
3. Среда и пределы жизни биосферы . . . . .	46
4. Основные этапы развития биосферы . . . . .	47
5. Отличительные признаки ноосферы. Техногенез . . . . .	53
<b>ТЕМА 3. Экология и здоровье человека</b> . . . . .	56
<b>ТЕМА 4. Глобальные проблемы окружающей среды и экологические принципы рационального природопользования</b> . . . . .	64
1. Природные ресурсы, их классификация . . . . .	64
2. Изменение климата (парниковый эффект) . . . . .	65
3. Диоксины . . . . .	68
4. Кислотные дожди . . . . .	78
5. Смог . . . . .	95
6. Трансграничное загрязнение воздуха . . . . .	104
7. Антропогенное воздействие на гидросферу . . . . .	105
8. Сокращение биологического разнообразия . . . . .	121
9. Деградация почв . . . . .	124
10. Возможность исчерпания запасов минерально-сырьевых ресурсов. Динамика потребления минерального сырья . . . . .	126
11. Принципы охраны окружающей среды и рационального природопользования . . . . .	129
12. Урбанизация и её влияние на биосферу . . . . .	132
13. Сохранение генофонда населения и планеты . . . . .	142

**ТЕМА 5. Экобиозащитная техника и технологии**

- 1. Основные понятия . . . . . 146
- 2. Системы защиты атмосферы. . . . . 150
- 3. Системы защиты гидросферы. . . . . 155
- 4. Системы защиты среды обитания от энергетических воздействий 161
- 5. Сбор, обезвреживание, переработка и захоронение отходов . . . . . 163

**ТЕМА 6. Экономико-правовые основы природопользования . . . 170**

- 1. Основные понятия . . . . . 170
- 2. Модели мировой экономики. . . . . 184

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . . 189**

**ПРИЛОЖЕНИЕ. Главные законы экологии . . . . . 190**

# ТЕМА 1

## ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИИ

1. Понятия, объекты и методы изучения в экологии.
2. Структура биосферы и экосферы.
3. Живые системы.
4. Клетка как саморегулируемая система.
5. Организм как дискретная самоорганизующаяся система.

### 1. Понятия, объекты и методы изучения в экологии

*Экология* — наука о взаимоотношениях организмов и среды их обитания. Современное определение: **экология** — система научных знаний о взаимоотношениях общества и природы. По Ю. Одуму, **экология** — это междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи.

Экология в современном понимании — это наука, изучающая условия существования живых организмов, взаимосвязи между ними, а также между ними и средой обитания. Условия существования организмов можно рассматривать с различных позиций, включая оценку среды обитания с точки зрения химического состава на современном атомно-ионном уровне и с учётом форм нахождения химических элементов. Это геохимическая оценка условий существования организмов. Таким образом, экология исследует структуру, организацию, функциональные связи и взаимовлияние компонентов биогеоценоза (ландшафта, экосистемы), а также потоки энергии в экосистеме.

*Предметом экологии* является совокупность, или структура связей между организмами и средой.

*Объект изучения в экологии* — экосистемы, то есть единые природные комплексы, образованные живыми организмами и средой обитания. В компетенцию экологии входит изучение отдельных видов организмов (организменный уровень), популяций (популяционный) и биосферы в целом — биосферный уровень.

## Методы экологии

Методическая основа современной экологии включает: *системный подход, натурные наблюдения, эксперимент и моделирование*. Количественные методы — измерения, расчёты, математический анализ.

*Методы регистрации и оценки состояния среды* являются необходимой частью любого экологического исследования. Метеорологические наблюдения, определения показателей качества природной воды, определение состояния почв, измерения освещённости, радиационного фона, напряжённости физических полей, определение химической и бактериологической загрязнённости среды. К этой группе методов относятся *мониторинг* — периодическое или непрерывное слежение за качеством окружающей среды. При этом используются современные методы физико-химического анализа, биоиндикация (использование для контроля состояния среды организмов, особо чувствительных к изменениям среды и к появлению в ней вредных агентов), дистанционного зондирования, телеметрии и компьютерной обработки данных.

*Методы количественного учёта организмов и методы оценки биомассы и продуктивности*. Для этого применяются подсчёты особей на контрольных площадках, в объёмах воды или почвы, маршрутные учёты, отлов и мечение животных, наблюдения за их перемещениями с помощью телеметрии, аэрокосмическая регистрация численности стад, скоплений рыб, густоты древостоя, состояния посевов и урожайности полей. Для изучения динамики численности популяций требуется введение методов демографии.

*Исследования влияния факторов среды на жизнедеятельность организмов*. В лабораторных условиях регистрируется воздействие контролируемого фактора, функций живых организмов. Этим путём устанавливаются оптимальные, или граничные условия существования. Так определяют критические, или летальные дозы химических и других агентов, по которым рассчитывают предельно допустимые концентрации и воздействия, лежащие в основе экологического нормирования. Экология смыкается с физиологией, биохимией и токсикологией.

Экспериментальная техника и методы используются при определении *устойчивости экосистем и изучении адаптаций* — приспособлений растений, животных и человека к различным условиям среды.

*Методы изучения взаимоотношений между организмами в сообществах* — часть системной экологии. Натурные наблюдения и лабораторные исследования пищевых отношений, пищевого поведения с применением метода «меток» радиоактивными изотопами. Можно определить, какое количество органического вещества переходит от одного звена пищевой цепи к другому: от растений — к травоядным, от них — к хищникам.

Экспериментальная методика создания и исследования искусственных сообществ и экосистем, то есть *лабораторное натурное моделирование* взаимодействий организмов друг с другом и с окружающей средой. Создаются искусственные, частично замкнутые самоподдерживающиеся многовидовые системы.

*Кибернетические исследования и методы математического моделирования* используют для управления и прогнозирования. Существуют близкие к реальным процессам математические модели техногенных эмиссий, распространения загрязнителей в атмосфере, самоочищения рек, экологических процессов.

Природные процессы представляют собой многоуровневые нелинейные задачи с большим числом переменных, аналитические решения которых практически невозможны, поэтому применяют методы имитационного моделирования, основанные на применении вычислительной техники. Новые компьютерные методы — технологии нейронных сетей (обработка информации с построением моделей) и аппарат теории нечётких множеств (разработка моделей эколого-экономической оценки эффективности проектов). Совершенствуются приёмы глобального моделирования, основанные на проблемно-прогнозном подходе.

*Средства методов прикладной экологии:*

– создание геоинформационных систем (ГИС-технологии) и банков экологической информации регионов, территорий, ландшафтов, агросистем, промышленных центров, городов;

– комплексный эколого-экономический анализ состояния территорий для целей экологической диагностики и оздоровления экологической обстановки;

– методы инженерно-экологических изысканий для оптимального размещения, проектирования, строительства и реконструкции гражданских и хозяйственных объектов;

– методы экологически ориентированного проектирования хозяйственных и гражданских объектов, основанные на принципах и расчётах экологического соответствия;

- технологические методы снижения отходности, побочных эмиссий и коэффициентов вредного действия производственных комплексов, процессов, устройств и изделий;
- методы оценки влияния техногенных загрязнителей и деградации среды на здоровье людей и состоянии природных систем;
- методы контроля экологической регламентации хозяйственной деятельности: экологический мониторинг, аттестация и паспортизация промышленных объектов, территориальных природно-производственных комплексов; экологическая экспертиза; оценки воздействия проектируемых объектов на окружающую среду.

## Основные разделы экологии

Экология как наука сформировалась в рамках биологии. Её предметом стали взаимоотношения живых организмов между собой (особей, популяций, биоценозов) и окружающей средой.

Основной традиционной частью экологии как биологической науки является *общая экология (биоэкология)*, которая изучает общие закономерности взаимоотношений живых организмов и среды (включая человека). В составе общей экологии выделяют основные разделы:

- *аутэкология*, исследует связи отдельного организма (вида, особи) с окружающей его средой;
- *популяционная экология (демэкология)*, в задачу которой входит изучение структуры и динамики популяций отдельных видов. Популяционную экологию рассматривают и как специальный раздел аутэкологии;
- *синэкология (биоценология)* изучает взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой.

*Основная задача общей экологии* — изучать закономерности адаптации организмов и их сообществ к окружающей среде, саморегуляцию, устойчивость систем и биосферы.

На стыке экологии с другими отраслями знаний продолжается развитие новых направлений: социальная, инженерная, географическая экология (геоэкология), геохимическая экология, математическая, сельскохозяйственная (агроэкология), космическая.

*Социальная экология* тесно взаимодействует с экологией человека, при этом рассматриваются взаимоотношения в системе «общество—природа». Широкая трактовка обозначает соотношение общества с географической, социальной и культурной средами. Со-



циальная экология — сплав социологии, социальной психологии, экологии человека, включает как социально-психологические и этологические отношения людей между собой, так и отношение людей к природе, то есть является эколого-социально-экономической отраслью знаний, где все социальные, экономические и природные условия рассматриваются как одинаково важные составные сферы жизни человека. Экологический подход при изучении взаимодействия человеческого общества и природы — основополагающий.

*Промышленная (инженерная) экология* изучает воздействие промышленности, транспорта, энергетики, сельскохозяйственной сферы производства (техносферы) на природу, исследует возможности формирования и закономерности функционирования упрощённых биоценозов, применяемых в технологических процессах.

*Географическая экология (геоэкология)* — это раздел экологии, изучающий экологические закономерности географических процессов в экосистемах высоких уровней иерархии (суши, морских и пресных вод, высокогорий и др.), сюда же относится и *геохимическая экология*.

*Математическая экология* объединяет математические модели и методы, используемые при решении проблем экологии.

*Сельскохозяйственная экология (агроэкология)* — раздел экологии об агроценозах, или культурэкосистемах. Исследует устанавливающиеся при совместном обитании в агроценозах связи между организмами, их прямые взаимодействия, влияние на них среды, особенности агроценопопуляций, продуктивность, роль организмов в создании определённой биоценотической среды, а также структуру, типы агроценозов и их районирование. Общая цель агроэкологии — использование биоценотических закономерностей культурной растительности для поднятия её продуктивности и доброкачественности.

*Космическая экология* — раздел экологии, исследующий взаимодействие живых организмов с окружающей средой в аспекте соотношения явлений жизни с космическим пространством. Космическая экология изучает взаимоотношения участников биокомплекса космического аппарата с окружающей средой в его герметической кабине. С точки зрения космической экологии сама поверхность нашей планеты, природная среда Земли рассматривается как часть планетарного космического тела. Космическая экология совместно с *космической биологией* разрабатывает искусственные экологические системы, выполняющие функции системы жизнеобеспечения при длительном пребывании человека в космическом полёте.

С научно-теоретической точки зрения обоснованно деление экологии на *теоретическую* и *прикладную*.

*Теоретическая экология* вскрывает общие закономерности организации жизни. *Прикладная экология* изучает механизмы разрушения биосферы человеком, способы предотвращения этого процесса, разрабатывает принципы рационального использования природных ресурсов. *Научную основу* прикладной экологии составляет система общеэкологических законов, правил, принципов.

*Стратегической задачей экологии* является развитие теории взаимодействия природы и общества.

*Задачи теоретической экологии:*

- разработка общей теории устойчивости экологических систем;
- изучение экологических механизмов адаптации к среде;
- исследование регуляции численности популяций;
- изучение биоразнообразия и механизмов его поддержания;
- исследование продукционных процессов;
- исследования процессов в биосфере для поддержания её устойчивости;
- моделирование состояния экосистем и биосферных процессов.

*Задачи прикладной экологии:*

- прогноз и оценка отрицательных последствий деятельности человека для окружающей среды;
- улучшение качества окружающей среды;
- сохранение, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;
- оптимизация инженерных, экономических, организационно-правовых, социальных решений для обеспечения экологически безопасного устойчивого развития.

## 2. Структура биосферы и экосферы

О том, что жизнью пронизаны верхние части земной коры, было известно давно. Это было отражено ещё в 1786 г. в работе Ф. Викд'Азира. Понятие **биосфера** (от греч. bios — жизнь и sphaira — шар) введено в биологию Ж. Б. Ламарком в начале XIX столетия. Позже Э. Зюсс, известный австрийский геолог, ввёл в науку представление о биосфере как об области земной коры, охваченной жизнью (1875). Введя в науку новый термин, Э. Зюсс не дал ему определения, поэто-

му слово «биосфера» стало изредка использоваться в геологической и географической литературе, причём каждый раз в различном значении. Основы учения о биосфере были заложены Владимиром Ивановичем Вернадским (1863–1945). В 1926 г. в Ленинграде вышла его книга «Биосфера». В ней впервые дано представление о биосфере Земли как о планетарной оболочке, наполненной, преобразованной и постоянно преобразуемой организмами. В. И. Вернадский распространил понятие «биосфера» не только на организмы, но и на среду обитания. Подчёркивая геологическую роль живых организмов, он утверждал: «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а поэтому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом».

Академик В. И. Вернадский назвал биосферой (область жизни) оболочку Земли, в формировании которой живые организмы играли и играют основную роль. Биосфера — это живая оболочка Земли, совокупность экосистем. Пределы биосферы обусловлены полем возможного существования жизни, которая может проявляться только в определённых энергетических, физических и химических условиях. Следовательно, жизнь охватывает не все оболочки планеты.

**Биосфера** — это наружная оболочка Земли, область распространения жизни, которая включает все живые организмы и все элементы неживой природы, образующие среду обитания живого. Биосфера возникла как результат развития живого вещества, которое аккумулирует энергию космоса, трансформирует её в энергию земных процессов (химическую, механическую и т. д.), непрерывно обменивается веществом с неживой материей, обеспечивая образование нового живого вещества.

Таким образом, к биосфере относится вся совокупность живых организмов (живое вещество и все вещества, которые находятся под контролем потребления, трансформации и продуцирования живыми организмами, то есть современное «биогенное вещество»).

Такое понимание совпадает с введением ранее и ныне широко применяемым понятием *экосферы* — планетарной совокупности современных биомов. Верхняя граница экосферы расположена на высоте нескольких метров (<30 м) над поверхностью растительного покрова на суше или над океаном. Нижняя граница проходит по горизонту грунтовых вод или максимального проникновения корней растений и роющих животных. В океане она ограничена слоем проникновения солнечных лучей, достаточным для осуществления фотосинтеза (не более 100 м) или глубиной сохранения биологической

активности в донных осадках. За этими пределами остаётся ничтожная часть живых организмов, но находятся огромные массивы продуктов жизнедеятельности — и в атмосфере (газы, пары воды), и в гидросфере (растворённая и взвешенная органика).

*Биота экосферы* обуславливает преобладающую часть химических превращений на планете, то есть выполняет глобальную метаболическую функцию. Отсюда суждение В. И. Вернадского об огромной преобразующей геологической роли живого существа. На протяжении органической эволюции живые организмы тысячекратно пропустили через себя, через свои органы, ткани, клетки кровь всю атмосферу, весь объём мирового океана, большую часть массы почв, огромную массу минеральных веществ. И не только пропустили, но и видоизменили всю земную среду.

## Космические циклы Земли

*Космические ритмы (циклы)* — периодические изменения в природе, происходящие под влиянием гравитационных сил. Все ритмы принято делить по значению их периода на две группы. К первой группе относят *ритмы, действующие в антропоной шкале времени*, то есть в шкале, соизмеримой с жизнью человека. Здесь прежде всего можно выделить суточный ритм, обусловленный вращением Земли вокруг своей оси, месячный ритм, связанный с вращением Луны вокруг Земли, и годичный ритм, обусловленный вращением Земли вокруг Солнца.

В суточном и годичном ритмах изменяются освещённость, создаваемая Солнцем на поверхности Земли, температурный режим и ряд физических параметров атмосферы и гидросферы. В результате происходит смена дня и ночи, смена времён года. Суточные и месячные вариации гравитационного поля на поверхности Земли, связанные с приливным действием Луны и Солнца, создают сложное явление океанических приливов. С такими же периодами (сутки и месяц) происходят вариации магнитного поля Земли. Изменение ориентации земной магнитосферы относительно солнечного ветра (радиального потока плазмы солнечной короны в межпланетное пространство) задаёт суточный ритм магнитного поля. Вращение Солнца, а вместе с ним межпланетного магнитного поля, имеющего характерную структуру, задаёт 27-дневный ритм вариаций магнитного поля Земли.

Ко второй группе относят *ритмы, действующие в геологической шкале времени*, то есть на протяжении очень длительных перио-

дов, гораздо больших длительности жизни человека. Долгопериодические изменения влияют на погоду и климат на Земле, а через это и на биосферу. Климатические циклы связаны с характерными особенностями орбитальных движений Земли и Солнца, обусловленных воздействием других планет и галактик.

Выделяют следующие *климатические циклы*, за которые ответственность несут особенности орбитального движения Земли:

1) 26-тысячелетний цикл, обусловленный прецессией оси вращения Земли, так называемый Большой платонический год;

2) 41-тысячелетний цикл, связанный с периодом изменения угла наклона оси вращения Земли к эклиптике (большому кругу небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца);

3) 100-тысячелетний цикл, равный периоду изменения значения эксцентриситета земной орбиты.

Совместное действие этих космических факторов, их наложение, взаимное усиление приводят к долгопериодическим изменениям климата Земли. Выявлены орбитальные климатические ритмы, обусловленные совместным действием космических факторов: длительностью в 400 тыс. лет; 1,2; 2,5 и 3,7 млн лет, среди которых 400-тысячелетний ритм служит основной причиной долгопериодических изменений климата и эволюции органического мира. Этот ритм выявлен геологами из последовательности ледниковых событий и только потом обнаружен астрономами.

## 3. Живые системы

**Живая система** — единство, состоящее из самоорганизующихся, самовоспроизводящихся элементов, активно взаимодействующих с окружающей средой, имеющее специфические признаки, присущие живым существам.

В науке существует мнение, что система, состоящая из живых людей, как, например, экономическая или социальная, обладает рядом качеств, делающих её подобной живому организму. Это живое создание со своими клетками, обменом веществ и нервной системой. В ней различные общественные институты играют роль органов, каждый из которых выполняет свою особую функцию в поддержании жизнедеятельности организма. К примеру, армия действует

аналогично иммунной системе, защищая организм от вторжений извне, тогда как правительство работает подобно мозгу, принимая решения и управляя. Эта мысль была впервые озвучена ещё в античности Аристотелем.

В своём развитии наука отошла от механистического взгляда на организмы. В изучении живых систем учёных привлекает многообразие процессов, с помощью которых система адаптируется к постоянно изменяющейся внешней среде. Множество идей и методов, объединённых в области «теории сложности», привели к осознанию организмов как самоорганизующихся адаптивных систем. Процессы в таких системах децентрализованы, неопределённые и постоянно изменяются. Сложное адаптивное поведение таких систем возникает в процессе взаимодействия между отдельными автономными компонентами. Модели, в которых управление подчинено отдельному блоку, были признаны недостаточно соответствующими действительности для большинства реальных систем.

## Общая теория живых систем

Вышеуказанные предпосылки привели к тому, что для систематизации существующих знаний в области систем, подобных живому организму, в 1978 г. была сформулирована общая теория живых систем. Термин «живые системы» был предложен Джеймсом Гриером Миллером в 1960 г. для обозначения открытых самоорганизующихся систем, которые взаимодействуют с окружающей средой и имеют специфические признаки, присущие живым существам.

## Автопоэзийная теория

Развитием науки о живых системах явилась концепция автопоэзиса (др.-греч. αὐτός ауто- — сам, ποιήσις — сотворение, производство) — термин, введённый в начале 1970-х гг. двумя чилийскими нейробиологами Умберто Матураной и Франциско Варелой, означает самопостроение, самовоспроизводство, репликацию живых существ, в том числе человека, которые отличаются тем, что их организация порождает в качестве продукта их самих без разделения на производителя и продукт. Идея автопоэзиса была разработана с целью описания феномена жизни как явления, свойственного открытым, самоподдерживающимся и самовозобновляющимся системам. В начале 1970-х У. Матурана и Ф. Варела написали несколько

работ, посвящённых теории автопоэзиса. Практически в это же время, в 1979 г. Варела публикует работу «Principles of Biological Autonomy» (Принципы биологической автономности), которая расширила кругозор и глубину его ранних работ. Эти книги являются ключевой теоретической литературой в этой области. Они характеризуют живые образования следующим образом: «жизнь — это автопоэзис».

## Социальная теория Никласа Лумана

Многие учёные пытались применить положения общей теории живых систем к конкретным задачам, например, для изучения направления управления изменениями в социальных системах. Одним из наиболее ярких исследователей функционирования живых систем в обществе является немецкий социолог Никлас Луман (1927–1998), изучавший общество в разрезе живой системы. В своей работе он опирался на труды основателя теории живых систем Миллера, а также разработчиков автопоэзийной теории — Ф. Варелы и У. Матураны. По Н. Луману, общество состоит не из личностей, а из коммуникаций между ними. Не человечество, а система коммуникаций выборочно интегрирует физический, химический, органический и психический потенциал людей. Эта система обладает собственной реальностью и собственной автономией.

В теории Н. Лумана понятие «коммуникации» настолько абсолютно, что он, перефразируя Декарта, мог бы сказать: «Коммуницирую, следовательно, существую». Если мы зададим резонный вопрос: «Можно ли усомниться в коммуникации?», Н. Луман ответит нам: «Усомниться в коммуникации можно только в ходе самой коммуникации». С точки зрения Н. Лумана, коммуникация охватывает весь универсум человеческого бытия, а всё остальное — в том числе сознание — служит лишь условием возможности коммуникации, как физиологические процессы служат условиями возможности жизни.

## Свойства живых систем

Живые системы обладают рядом свойств, которые отличают их от систем неживой природы. Такими особенностями являются: обмен веществ, единство химического состава, наследственность, репродукция, развитие и рост, изменчивость, ритмичность, дискретность, раздражимость, гомеостаз, энергозависимость.

*Единство химического состава* означает, что в составе всех живых организмов находятся те же химические элементы, что и в объектах неживой природы. Но соотношение этих элементов в живых и неживых объектах отличается. Состав объектов неживой природы представлен, кроме кислорода, алюминием, магнием, железом, кремнием и т. д. Живые организмы на 98 % состоят из четырёх элементов — кислорода, углерода, водорода и азота.

*К обмену веществ с окружающей средой* способны все живые организмы. Они поглощают из окружающей среды элементы, которые необходимы для питания, и выделяют продукты жизнедеятельности. В небиологическом круговороте вещества лишь перемещаются с места на место либо меняется их агрегатное состояние, в то время как у живых организмов обмен веществ происходит на качественно ином уровне, включая процессы распада и синтеза. В процессе целого ряда разных сложных химических превращений поглощённые из окружающей среды вещества трансформируются в вещества, из которых строится тело живого организма. Эти процессы называются ассимиляцией. В результате обратных процессов — диссимиляции — происходит распад сложных соединений на простые. В этом случае выделяется энергия, которая необходима для реакции биосинтеза. Поэтому процесс диссимиляции называется энергетическим обменом. Благодаря обмену веществ обеспечивается постоянство химического состава, а также структуры всех составляющих частей организма, тем самым обеспечивается постоянство их функционирования.

Ещё одной особенностью живых систем является способность к самовоспроизведению. *Самовоспроизведение, размножение, репродукция* — это способность организмов производить себе подобных. Процесс репродукции осуществляется на всех уровнях организации живой материи. Такое свойство живых систем, как наследственность, состоит в способности живых организмов к передаче своих свойств, особенностей развития, признаков из поколения в поколение. Свойство наследственности обуславливается стабильностью, которая основана на постоянстве строения ДНК.

Противоположным наследственности, но тесно с ней связанным свойством является *изменчивость*. Под изменчивостью понимается способность организмов приобретать новые свойства и признаки. Изменчивость является основой для естественного отбора, что приводит к возникновению новых видов живых организмов и появлению новых форм жизни.



Следующей особенностью живых систем являются рост и развитие. *Развитие* означает необратимое направленное изменение структуры объектов или их состава. Развитие живых форм представлено онтогенезом и филогенезом, то есть индивидуальным и историческим развитием. В ходе развития проявляется специфическая структурная организация индивидуальной особи, а репродукция макромолекул, клеток и их элементарных структур вызывает увеличение биомассы. Результатом филогенеза является многообразие живого на Земле.

*Раздражимость* — ещё одно свойство живых систем. Любой организм связан с окружающей средой, он получает из неё питательные вещества, взаимодействует с другими организмами, подвергается влиянию факторов окружающей среды и т. д. В ходе эволюции у организмов выработалось и укрепилось свойство реагировать избирательно на воздействия извне. Такое свойство называется раздражимостью. Любое изменение условий окружающей среды является раздражением для организма, реакция организма на раздражители показывает его чувствительность. Реакция многоклеточных организмов на внешний раздражитель называется рефлексом и происходит посредством нервной системы.

Под *дискретностью* понимается свойство живых систем проявляться в виде разделённых, дискретных форм. Отдельно взятый организм либо какая-то другая биологическая система состоит из отдельных, обособленных либо ограниченных в пространстве, но при этом тесно взаимодействующих частей, которые образуют структурно-функциональное единство. Каждый вид включает в себя отдельные особи. Каждая особь состоит из органов, которые состоят из клеток. Свойство дискретности живой системы выступает в качестве основы структурной упорядоченности и способности самообновления. Дискретность вида обуславливает возможность его эволюции посредством устранения от размножения либо гибели неприспособленных особей и сохранение организмов с признаками, полезными для выживания.

*Ритмичность* живых систем означает периодические изменения интенсивности физиологических функций. Период колебаний может быть разным, от секунд до столетий. Например, известны суточные ритмы бодрствования и сна; сезонные ритмы активности у ряда животных и т. д. Ритмичность обеспечивает согласование функций организма со средой его обитания. Другими словами, ритмичность — приспособление организма к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды. Живые системы являются относительно

энергозависимыми. Все живые организмы представляют собой открытые системы, которые устойчивы только при условии непрерывного доступа энергии и материи из окружающей среды. В отличие от неживых объектов, живые организмы от окружающей среды ограничены оболочками — у многоклеточных организмов это покровная ткань, а у одноклеточных — клеточная мембрана. Оболочки сводят к минимуму потерю веществ и обеспечивают поддержание пространственного единства живой системы.

Под *гомеостазом* понимается совокупность приспособительных реакций организма, которые направлены на сохранение динамического состояния его внутренней среды — кровяного давления, температуры и т. д. Принцип отрицательной обратной связи является основой гомеостаза. Саморегуляция позволяет живым системам сохранять стационарное состояние в непрерывно меняющейся окружающей среде и обеспечивает их выживание.

## 4. Клетка как саморегулируемая система

*Клетка* — наименьшая структурно-функциональная единица живого. **Клетка** — целостная, самовоспроизводящаяся и саморегулируемая система, обладающая всеми свойствами живого.

**Жизненные свойства клетки.** Основное жизненное свойство клетки — обмен веществ. Из межклеточного вещества в клетки постоянно поступают питательные вещества и кислород и выделяют продукты распада. Вещества, поступившие в клетку, участвуют в процессах биосинтеза. Биосинтез — это образование белков, жиров, углеводов и их соединений из более простых веществ. В процессе биосинтеза образуются вещества, свойственные определённым клеткам организма. Например, в клетках мышц синтезируются белки, обеспечивающие их сокращение. Одновременно с биосинтезом в клетках происходит распад органических соединений. В результате распада образуются вещества более простого строения. Большая часть реакции распада идёт с участием кислорода и освобождением энергии. Эта энергия расходуется на жизненные процессы, протекающие в клетке. Процессы биосинтеза и распада составляют обмен веществ, который сопровождается превращениями энергии. Клеткам свойственны рост и размножение. Клетки тела человека раз-

множаются делением пополам. Каждая из образовавшихся дочерних клеток растёт и достигает размеров материнской. Новые клетки выполняют функцию материнской клетки. Продолжительность жизни клеток различна: от нескольких часов до десятков лет. Живые клетки способны реагировать на физические и химические изменения окружающей их среды. Это свойство клеток называют возбудимостью. При этом из состояния покоя клетки переходят в рабочее состояние — возбуждение. При возбуждении в клетках меняется скорость биосинтеза и распада веществ, потребление кислорода, температура. В возбуждённом состоянии разные клетки выполняют свойственные им функции. Железистые клетки образуют и выделяют вещества, мышечные — сокращаются, в нервных клетках возникает слабый электрический сигнал — нервный импульс, который может распространяться по клеточным мембранам.

**Внутренняя среда организма.** Большинство клеток тела не связаны с внешней средой. Их жизнедеятельность обеспечивается внутренней средой, которую составляют три типа жидкостей: межклеточная (тканевая) жидкость, с которой клетки непосредственно соприкасаются, кровь и лимфа. Внутренняя среда обеспечивает клетки веществами, необходимыми для их жизнедеятельности, и через неё удаляются продукты распада. Внутренняя среда организма имеет относительное постоянство состава и физико-химических свойств. Только при этом условии клетки могут нормально функционировать. Обмен веществ, биосинтез и распад органических соединений, рост, размножение, возбудимость — основные жизненные свойства клеток. Жизненные свойства клеток обеспечиваются относительным постоянством состава внутренней среды организма. С другой стороны, клетка — часть многоклеточного организма, входит в состав тканей, подчиняется нервной и гуморальной регуляции со стороны всего организма.

## 5. Организм как дискретная самоорганизующаяся система

Все живые организмы, обитающие на Земле, представляют собой дискретные самовоспроизводящиеся открытые системы, зависящие от поступления вещества и энергии извне. Процесс потребления вещества и энергии называется питанием. Химические вещества

необходимы для построения тела, энергия — для осуществления процессов жизнедеятельности.

**Дискретность** является всеобщим свойством материи вообще. Любая, в том числе биологическая система состоит из отдельных, но тем не менее взаимодействующих частей, которые образуют структурно-функциональное единство. Живое существо, организм существует всегда дискретно, то есть в форме обособленных друг от друга тел; они характеризуются трёхмерной структурой, которая специфична для каждого вида. Именно по характеру этой структуры можно отличить, например, льва от собаки.

Совершенно очевидно, что без активных связей со средой обитания (окружающей средой) в виде обмена веществ, получения энергии от источников и информации самовоспроизводства организмов не происходило бы вообще. Например, автотрофные организмы способны полностью самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических молекул, потребляемых из внешней среды. Гетеротрофные организмы строят собственные органические вещества из органических компонентов пищи, при этом гетеротрофная ассимиляция сводится, по существу, к перестройке молекул, составляющих компоненты пищи.

По сходству и родству живые организмы делят следующим образом. Разделяют неклеточные организмы и клеточные организмы. Доклеточные включают одно царство — вирусы. Клеточные включают два надцарства: прокариоты (или доядерные) и эукариоты (или ядерные). Первое включает одно царство — дробянки (три подцарства: бактерии, археобактерии и цианобактерии, или синезелёные водоросли). Второе объединяет три царства: животные (два подцарства: простейшие, или одноклеточные, и многоклеточные), растения (три подцарства: настоящие водоросли, багрянковые и высшие растения) и грибы (два подцарства: низшие грибы и высшие грибы).

Для большинства организмов, живущих на Земле, главный источник энергии — Солнце. Видимые лучи — основной источник жизни на Земле, дающий энергию для фотосинтеза. Инфракрасные лучи — основной источник тепловой энергии, необходимой для многих организмов; ультрафиолетовые лучи в небольших дозах необходимы живым организмам как источник энергии для стимуляции роста и развития клеток, для синтеза витамина D и т. д.

Организмы могут использовать два источника тепловой энергии: — внешний — тепловая энергия Солнца или внутреннее тепло Земли;

– внутренний — тепло, выделяемое при обмене веществ в самом организме.

По источнику энергии живые организмы делятся:

– на *фототрофы* — используют световую энергию (энергию солнечного излучения);

– *хемотрофы* — химическую энергию, которая выделяется при окислении химических соединений (внутри организма).

## Метаболизм живых организмов

**Метаболизм** — совокупность всех химических реакций, протекающих в живом организме. Значение метаболизма состоит в создании необходимых организму веществ и обеспечении его энергией. Выделяют две составные части метаболизма — катаболизм и анаболизм.

**Катаболизм (энергетический обмен, диссимиляция)** — совокупность реакций, приводящих к образованию простых веществ из более сложных (гидролиз полимеров до мономеров и расщепление последних до низкомолекулярных соединений углекислого газа, воды, аммиака и др. веществ). Катаболические реакции идут обычно с высвобождением энергии.

**Анаболизм (пластический обмен, ассимиляция)** — понятие, противоположное катаболизму: совокупность реакций синтеза сложных веществ из более простых (образование углеводов из углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза, реакции матричного синтеза). Для протекания анаболических реакций требуются затраты энергии.

Процессы пластического и энергетического обмена неразрывно связаны между собой. Все синтетические (анаболические) процессы нуждаются в энергии, поставляемой в ходе реакций диссимиляции. Сами же реакции расщепления (катаболизма) протекают лишь при участии ферментов, синтезируемых в процессе ассимиляции.

**Энергетический обмен.** По отношению к свободному кислороду организмы делятся на три группы: аэробы, анаэробы и факультативные формы.

**Аэробы (облигатные аэробы)** — организмы, способные жить только в кислородной среде (животные, растения, некоторые бактерии и грибы).

**Анаэробы (облигатные анаэробы)** — организмы, неспособные жить в кислородной среде (некоторые бактерии).

**Факультативные формы (факультативные анаэробы)** — организмы, способные жить как в присутствии кислорода, так и без него (некоторые бактерии и грибы).

У облигатных аэробов и факультативных анаэробов в присутствии кислорода катаболизм протекает в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный. В результате органические вещества распадаются до неорганических соединений. У облигатных анаэробов и факультативных анаэробов при недостатке кислорода катаболизм протекает в два первых этапа: подготовительный и бескислородный. В результате образуются промежуточные органические соединения, ещё богатые энергией.

Этапы энергетического обмена (катаболизма):

Первый этап — *подготовительный* — заключается в ферментативном расщеплении сложных органических соединений на более простые. Белки расщепляются до аминокислот, жиры — до глицерина и жирных кислот, полисахариды — до моносахаридов, нуклеиновые кислоты — до нуклеотидов. У многоклеточных организмов это происходит в желудочно-кишечном тракте, у одноклеточных — в лизосомах под действием гидролитических ферментов. Высвобождающаяся при этом энергия рассеивается в виде теплоты. Образовавшиеся органические соединения либо подвергаются дальнейшему окислению, либо используются клеткой для синтеза собственных органических соединений.

Второй этап — *неполное окисление (бескислородный)* — заключается в дальнейшем расщеплении органических веществ, осуществляется в цитоплазме клетки без участия кислорода. Бескислородное, неполное окисление глюкозы называется *гликолизом*. В результате гликолиза из одной молекулы глюкозы образуются две молекулы пировиноградной кислоты (ПВК), при этом синтезируются две молекулы АТФ.

Далее при отсутствии в среде кислорода ПВК перерабатывается либо в этиловый спирт — спиртовое брожение (в клетках дрожжей и растений при недостатке кислорода), либо в молочную кислоту — молочнокислое брожение (в клетках животных при недостатке кислорода).

При наличии в среде кислорода продукты гликолиза претерпевают дальнейшее расщепление до конечных продуктов, то есть включаются в третий этап.

Третий этап — *полное окисление (дыхание)* — заключается в окислении ПВК до углекислого газа и воды, осуществляется в митохондриях, при обязательном участии кислорода.

Суммарное уравнение расщепления глюкозы в процессе клеточного дыхания:



Таким образом, в ходе гликолиза образуются две молекулы АТФ, в ходе клеточного дыхания — ещё 36 АТФ, в целом при полном окислении глюкозы — 38 АТФ.

## Пластический обмен

Гетеротрофные организмы строят собственные органические вещества из органических компонентов пищи. Гетеротрофная ассимиляция сводится по существу к перестройке молекул: органические вещества пищи (белки, жиры, углеводы) → простые органические молекулы (аминокислоты, жирные кислоты, моносахариды) → макромолекулы тела (белки, жиры, углеводы).

Автотрофные организмы способны полностью самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических молекул, потребляемых из внешней среды. В процессе фото- и хемосинтеза происходит образование простых органических соединений, из которых в дальнейшем синтезируются макромолекулы: неорганические вещества ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ) → простые органические молекулы (аминокислоты, жирные кислоты, моносахариды) → макромолекулы тела (белки, жиры, углеводы).

Рассмотрим наиболее важные, с точки зрения экологии, метаболические процессы пластического обмена — фотосинтез и хемосинтез.

**Фотосинтез (фотоавтотрофия)** — синтез органических соединений из неорганических за счёт энергии света. Суммарное уравнение фотосинтеза:  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ .

Фотосинтез протекает при участии фотосинтезирующих пигментов, обладающих уникальным свойством преобразования энергии солнечного света в энергию химической связи в виде АТФ. Процесс фотосинтеза состоит из двух фаз: световой и темновой.

В процессе фотосинтеза кроме моносахаридов (глюкоза и др.) синтезируются мономеры других органических соединений — аминокислоты, глицерин и жирные кислоты. Таким образом, благодаря фотосинтезу растения обеспечивают себя и всё живое на Земле необходимыми органическими веществами и кислородом.

**Хемосинтез (хемоавтотрофия)** — процесс синтеза органических соединений из неорганических ( $\text{CO}_2$  и др.) за счёт химической энергии окисления неорганических веществ (серы, водорода, сероводорода, железа, аммиака, нитритов и др.). К хемосинтезу способны только хемосинтезирующие бактерии: нитрифицирующие, водородные, железобактерии, серобактерии и др. Они окисляют соединения азота, железа, серы и других элементов. Все хемосинтетики являются облигатными аэробами, так как используют кислород воздуха. Нитрифицирующие бактерии окисляют соединения азота, железобактерии превращают закисное железо в окисное, серобактерии окисляют соединения серы.

Высвобождающаяся в ходе реакций окисления энергия запасается бактериями в виде молекул АТФ и используется для синтеза органических соединений. Хемосинтезирующие бактерии играют очень важную роль в биосфере. Они участвуют в очистке сточных вод, способствуют накоплению в почве минеральных веществ, повышают плодородие почвы.

## Гомеостаз

**Гомеостаз** (*homoios* — подобный, сходный и *stasis* — стояние, неподвижность) — саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Гомеостаз, по Кеннону, учитывает физиологические основы для устойчивости особей. Процессы динамичны и постоянно изменяются, но в определённых рамках (определяемые физиологическими константами, которые показывают колебания около среднего значения).

Кеннон выделил два компонента гомеостаза:

1) материалы, необходимые для нормального функционирования и развития клеток: рост, размножение, восстановление (жиры, вода и соли, белки, глюкоза);

2) физико-химические факторы. Здесь оказывается влияние на работоспособность клеток (давление, температура и др.).

### Механизмы гомеостаза

Сегодня известны два механизма работы гомеостаза:

– отрицательная обратная связь. По этому типу связи весь организм осуществляет противоположные воздействию извне по направлению действия. Пытается вернуть положение равновесия.



По такому механизму происходит дыхательный процесс, удаление углекислого газа в лёгких. Увеличивается интенсивность процедуры вдох-выдох;

– положительная обратная связь. Здесь всё наоборот. Действия со стороны системы увеличивают отклонения от состояния равновесия. Это редкое действие и менее изученное. Одним примером выступает электрический потенциал нервов. Вместо того чтобы прекратить возбуждение, потенциал продолжает его увеличивать.

В аспекте экологии это явление характерно для популяций (особи одного вида, которые на протяжении долгого времени проживают на одной территории). *Гомеостаз* — способность популяции сохранять численность на длительный период с поддержанием генетического разнообразия. Постоянство состояния — необходимое условие окружающей среды. Если внешняя среда не поддерживает постоянные условия жизни своей географической области, то живые организмы могут погибнуть при таких условиях: высокая или низкая температура приведут к нехватке пропитания, а значит, смерти одних видов, которые являются пищей для хищников. Те погибнут от голода, и такой снежный ком постепенно будет нарастать, пока не исчезнут все прежние живые существа, обитающие на этой территории.

Для гомеостаза выделяют два параметра:

1. *Выносливость*. Нет нарушений основных параметров системы при изменениях внешних факторов. Живая система приспосабливается к новым условиям, не испытывая сильного стресса.

2. *Спротивляемость (или упругость)*. Система за короткое время сама ликвидирует последствия потери динамического равновесия из-за результатов неблагоприятного воздействия извне.

В биологии важен закон сохранения индивидуальных свойств, присущих отдельному организму. Здесь подобность клеток описывается постоянством химического состава, давления, объёма, содержания воды и др. Не всегда изучаемое сходство призывает к сохранению параметров, требуется и самостоятельная адаптация к всплескам из внешней среды. Поэтому критерию организмы делятся следующим образом:

1. *Конформационные* (сохраняют параметры постоянными. Обитатели тёплых географических широт не смогут без перьев, пуха, жировой прослойки выжить при понижении температуры).

2. *Регуляторные* (приспосабливаются к изменению окружающей среды. Холоднокровные стараются сохранять энергию, изменяют свой образ жизни).

Ежедневно на человека оказывают воздействие факторы окружающего пространства. Чтобы биологические процессы стабильно работали, их условия не должны измениться.

Основные виды гомеостаза:

1. *Генетический*. Здесь рассматривают сохранение генотипа конкретной популяции. Генетическая система имеет индивидуальный набор наследственной информации.

2. *Физиологический*. Обеспечивается оптимальное состояние жизненно важных показателей. К таким показателям относят: температуру, артериальное давление, работу пищеварения. Функционирование осуществляется работой иммунной, эндокринной и нервной систем.

3. *Структурный (регенерационный или клеточный)*. Здесь происходит восстановление и излечение повреждённых клеток организма после болезни и полученных травм.

Все эти виды развиваются в едином комплексе вместе с человеком на протяжении всей жизни, обеспечивая минимальные отклонения в самочувствии. Чтобы все три вида работали слаженно и быстро, нужно следить за общим состоянием здоровья. Обратитесь к врачу, проходите диспансеризацию с последующим планом лечения.

Для человека необходима стабилизация всей системы при изменении внутренних параметров или внешних (изменение климатических условий или часовых поясов). Например, выход из равновесия выражается при регулировании глюкозы крови (сахарный диабет). Кровяное давление фиксируется на конкретном уровне. Низкое давление может привести к потере сознания, высокое — вплоть до разрыва капилляров с кровоизлиянием в мозг.

Человеку необходимо поддержание одинаковой температуры тела. Если же происходит перегрев, например, во время активной работы в тренажёрном зале, от него можно избавиться потоотделением. Нормальная температура тела находится в интервале от 36 до 37 °С. Повышение говорит о протекании воспалительного или инфекционного процесса в организме.

## Адаптации организмов

*Адаптации* — различные приспособления к среде обитания, выработавшиеся у организмов в процессе эволюции. Адаптации проявляются на разных уровнях организации живой материи: от молекулярного до биоценотического. Способность к адаптации — одно

из основных свойств живой материи, обеспечивающее возможность её существования. Адаптации развиваются под действием трёх основных факторов: наследственность, изменчивость и естественный (а также искусственный) отбор.

Существуют три основных пути приспособления организмов к условиям окружающей среды: активный путь, пассивный путь и избегание неблагоприятных воздействий.

*Активный путь* — усиление сопротивляемости, развитие регуляторных процессов, позволяющих осуществлять все жизненные функции организма, несмотря на отклонения фактора от оптимума. Например, поддержание постоянной температуры тела у теплокровных животных (птиц и млекопитающих), оптимальной для протекания биохимических процессов в клетках.

*Избегание неблагоприятных воздействий* — выработка организмом таких жизненных циклов и поведения, которые позволяют избежать неблагоприятных воздействий. Например, сезонные миграции животных.

*Пассивный путь* — подчинение жизненных функций организма изменению факторов среды. Покой может быть разным по глубине и продолжительности, многие функции организма при этом ослабевают или не выполняются совсем, так как уровень обмена веществ падает под влиянием внешних и внутренних факторов. При глубоком подавлении обмена веществ организмы могут вообще не проявлять видимых признаков жизни. Полная временная остановка жизни получила название *анабиоза*. В состоянии анабиоза организмы становятся устойчивыми к разнообразным воздействиям. В сухом состоянии, когда в клетках оставалось не более 2 % воды в химически связанном виде, такие организмы, как коловратки, тихоходки, мелкие нематоды, семена и споры растений, споры бактерий и грибов выдерживали пребывание в жидком кислороде ( $-218,4$  °C), жидком водороде ( $-259,4$  °C), жидком гелии ( $-269$  °C). Всякий обмен веществ прекращён. Анабиоз — достаточно редкое явление и является крайним состоянием покоя в живой природе, состояние анабиоза возможно лишь при почти полном обезвоживании организмов. Гораздо шире распространены в природе другие формы покоя, связанные с состоянием пониженной жизнедеятельности в результате частичного угнетения метаболизма. Формы покоя в состоянии пониженной жизнедеятельности делят на *гипобиоз* (*покой вынужденный*) и *криптобиоз* (*покой физиологический*).

При *гипобиозе* торможение активности, или оцепенение возникает под прямым давлением неблагоприятных условий (при недостатке тепла, воды, кислорода и т. п.) и прекращается почти сразу после того, как эти условия возвращаются к норме (некоторые морозостойкие виды членистоногих (коллемболы, ряд мух, жужелицы и др.) зимуют в состоянии оцепенения, быстро оттаивая и переходя к активности под лучами солнца, а затем вновь теряют подвижность при снижении температуры).

*Криптобиоз* — принципиально другой тип покоя, он связан с комплексом физиологических перестроек, которые происходят заблаговременно, до наступления неблагоприятных сезонных изменений, и организмы оказываются к ним готовы. Криптобиоз широко распространён в живой природе (характерно, например, для семян растений, цист и спор различных микроорганизмов, грибов, водорослей; спячка млекопитающих, глубокий покой растений). Состояния гипобиоза, криптобиоза и анабиоза обеспечивают выживание видов в природных условиях разных широт, часто экстремальных, позволяют сохранять организмы в течение длительных неблагоприятных периодов, расселяться в пространстве и во многом раздвигают границы возможности и распространения жизни в целом. Обычно приспособление вида к среде осуществляется тем или иным сочетанием всех трёх возможных путей адаптации.

Основные механизмы адаптации на уровне организма:

*Биохимические адаптации* — изменения во внутриклеточных процессах (например, смена работы ферментов или изменение их количества).

*Морфо-анатомические адаптации* — изменения в строении организма (например, видоизменение листа в колючку у кактусов для снижения потерь воды, яркая окраска цветков для привлечения опылителей и др.). Морфологические адаптации у растений и животных приводят к образованию определённых жизненных форм.

*Физиологические адаптации* — изменения в физиологии организма (например, способность верблюда обеспечивать организм влагой путём окисления запасов жира, наличие целлюлозоразрушающих ферментов у целлюлозоразрушающих бактерий и др.).

*Этологические (поведенческие) адаптации* — изменения в поведении (например, сезонные миграции млекопитающих и птиц, впадение в спячку в зимний период, брачные игры у птиц и млекопитающих в период размножения и др.). Этологические адаптации характерны для животных.

*Онтогенетические адаптации* — ускорение или замедление индивидуального развития, способствующие выживанию при изменении условий.

## **Взаимодействие организма и среды обитания**

*Среда обитания организма* — это совокупность абиотических и биотических условий его жизни. Свойства среды постоянно меняются, и любое существо, чтобы выжить, приспосабливается к этим изменениям. Воздействие среды воспринимается организмами через посредство факторов среды, называемых экологическими.

*Экологические факторы* — это определённые условия и элементы среды, которые оказывают специфическое воздействие на организм. Они подразделяются на абиотические, биотические и антропогенные.

*Абиотические факторы* — вся совокупность факторов неорганической среды, влияющих на жизнь и распространение животных и растений. Среди них различают физические, химические и эдафические факторы.

*Физические факторы* — факторы, источником которых служит физическое состояние или явление (механическое, волновое и др.). Например, температура: если она высокая — будет ожог, если очень низкая — обмороживание. На действие температуры могут повлиять и другие факторы: в воде — течение, на суше — ветер и влажность, и т. п.

*Химические факторы* — это те, которые происходят от химического состава среды. Например, солёность воды, если она высокая, жизнь в водоёме может вовсе отсутствовать (Мёртвое море), но в то же время в пресной воде не могут жить большинство морских организмов. От достаточности содержания кислорода зависит жизнь животных на суше и в воде, и т. п.

*Эдафические факторы, или почвенные* — совокупность химических, физических и механических свойств почв и горных пород, оказывающих воздействие как на организмы, живущие в них, то есть для которых они являются средой обитания, так и на корневую систему растений. Хорошо известно влияние химических компонентов (биогенных элементов), температуры, влажности, структуры почв, содержания гумуса и т. п. на рост и развитие растений.

Однако не только абиотические факторы влияют на организмы. Организмы образуют сообщества, где им приходится бороться за пищевые ресурсы, за обладание определёнными пастбищами или территорией охоты, то есть вступать в конкурентную борьбу между собой. При этом проявляются хищничество, паразитизм и другие сложные взаимоотношения как на внутривидовом, так и особенно на межвидовом уровнях. Это уже факторы живой природы, или биотические факторы.

*Биотические факторы* — совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а также на неживую среду обитания. В последнем случае речь идёт о способности самих организмов в определённой степени влиять на условия обитания. Например, в лесу под влиянием растительного покрова создаётся особый микроклимат, или микросреда, где по сравнению с открытым местообитанием создаётся свой температурно-влажностный режим: зимой здесь на несколько градусов теплее, летом — прохладнее и влажнее. Особая микросреда создаётся также в дуплах деревьев, в норах, пещерах и т. п.

Особо следует отметить условия микросреды под снежным покровом, которая имеет уже чисто абиотическую природу. В результате утепляющего действия снега, которое наиболее эффективно при его толщине не менее 50–70 см, в его основании, примерно в 5-сантиметровом слое, живут зимой мелкие животные-грызуны, так как температурные условия для них здесь благоприятны (от 0 до  $-2^{\circ}\text{C}$ ). Благодаря этому же эффекту сохраняются под снегом всходы озимых злаков — ржи, пшеницы. В снегу от сильных морозов прячутся и крупные животные — олени, лоси, волки, лисицы, зайцы и др. — ложась в снег для отдыха.

Внутривидовые взаимодействия между особями одного и того же вида складываются из группового и массового эффектов и внутривидовой конкуренции.

*Групповой и массовый эффекты* — термины, предложенные Грассе (1944), обозначают объединение животных одного вида в группы по две или более особей и эффект, вызванный перенаселением среды. В настоящее время чаще всего эти эффекты называются демографическими факторами. Они характеризуют динамику численности и плотность групп организмов на популяционном уровне, в основе которых лежит внутривидовая конкуренция, в корне отличающаяся от межвидовой. Она проявляется в основном в территориальном поведении животных, которые защищают места своих гнездовых и известную площадь в округе. Таковы многие птицы и рыбы.

*Межвидовые взаимоотношения* значительно более разнообразны. Два живущие рядом вида могут вообще никак не влиять друг на друга, могут влиять благоприятно или неблагоприятно. Выделяют девять типов наиболее важных взаимодействий:

– *нейтрализм* — ассоциация двух видов популяций не сказывается ни на одном из них;

– *взаимное конкурентное подавление* — обе популяции взаимно подавляют друг друга;

– *конкуренция из-за ресурсов* — каждая популяция неблагоприятно воздействует на другую при недостатке пищевых ресурсов;

– *аменсализм* — одна популяция подавляет другую, но сама при этом не испытывает отрицательного влияния;

– *паразитизм* — популяция паразита наносит вред популяции хозяина;

– *хищничество* — одна популяция неблагоприятно воздействует на другую в результате прямого нападения, но зависит от другой;

– *комменсализм* — одна популяция извлекает пользу от объединения с другой, а другой популяции это объединение безразлично;

– *протокооперация* (симбиоз в животном мире) — обе популяции получают пользу от объединения;

– *мутуализм* — связь благоприятна для роста и выживания отдельных популяций, причём в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой.

Тип взаимодействия определённой пары видов может изменяться в зависимости от условий или от последовательных стадий их жизненных циклов. Иногда отношения двух видов можно охарактеризовать как паразитизм, иногда — как комменсализм, а иногда они могут быть нейтральными. Девять описанных видов взаимодействий можно свести к двум более обобщённым типам — отрицательным и положительным. В зависимости от состояния экосистемы к ней может быть применим один из следующих принципов:

1) в ходе эволюции и развития экосистемы существует тенденция к уменьшению роли отрицательных взаимодействий за счёт положительных, увеличивающих выживание обоих видов;

2) в недавно сформировавшихся или новых ассоциациях вероятность возникновения сильных отрицательных взаимодействий больше, чем в старых.

Наиболее распространён такой тип взаимодействия популяций, при котором одна популяция влияет на скорость роста и смертность другой. Члены одной популяции могут поедать других,

конкурировать с ними за пищу, выделять вредные продукты или ещё каким-либо образом оказывать влияние на другую популяцию. Взаимодействие популяций может быть взаимно полезным, полезным для одной из них и безразличным для другой. Более того, взаимоотношения могут меняться, они не заданы раз и навсегда. Межвидовые отношения лежат в основе существования биотических сообществ (биоценозов).

*Антропогенные факторы* — факторы, порождённые человеком и воздействующие на окружающую среду (загрязнение, эрозия почв, уничтожение лесов и т. д.), рассматриваются в прикладной экологии.

Среди биотических факторов довольно часто выделяют климатические (температура, влажность воздуха, ветер и др.) и гидрографические — факторы водной среды (вода, течение, солёность и др.).

Большинство факторов качественно и количественно изменяются во времени. Например, климатические — в течение суток, сезона, по годам (температура, освещённость и др.).

Факторы, изменение которых во времени повторяются регулярно, называют *периодическими*. К ним относятся не только климатические, но и некоторые гидрографические — приливы и отливы, некоторые океанские течения. Факторы, возникающие неожиданно (извержение вулкана, нападение хищника и т. п.), называются *непериодическими*.

Подразделение факторов на периодические и непериодические имеет очень важное значение при изучении приспособленности организмов к условиям жизни.

## Популяция, сообщества, экосистемы

*Популяцией* называют группу особей одного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать своё существование в определённом местообитании. Популяция — это некоторое единство, которое определяется общностью занимаемой особями территории, а также общностью их происхождения, сходством строения и поведения. Например: все особи, обитающие в небольшом озере, или все деревья одного вида в лесу.

Следовательно, популяции состоят из одинаковых организмов, совместно населяющих определённые участки и связанных между собой различными взаимоотношениями, которые обеспечивают им устойчивое существование в данной природной среде.



Слово «популяция» происходит от латинского «популюс» — народ, население. Экологическую популяцию, таким образом, можно определить как население одного вида на определённой территории. Элементарной клеточкой синтетической теории эволюции является популяция, а элементарной единицей наследственности выступает ген. Наследственное изменение популяции в каком-либо определённом направлении осуществляется под воздействием таких эволюционных факторов, как мутационный процесс, популяционные волны, изоляция, естественный отбор.

Таким образом, в синтетической теории эволюции на первый план выступает не онтогенез — совокупность преобразований, происходящих в организме от зарождения до конца жизни, то есть индивидуальное развитие организма, а развитие популяций.

Онтогенетический уровень организации жизни на Земле связан с жизнедеятельностью отдельных биологических особей, дискретных индивидуумов, а популяционный уровень надындивидуален. Виды — это системы популяций. Популяции и виды как надындивидуальные образования способны к существованию в течение длительного времени и к самостоятельному эволюционному развитию.

Члены одной популяции оказывают друг на друга не меньшее взаимодействие, чем физические факторы среды или другие обитающие совместно виды организмов. В популяциях проявляются в той или иной степени все формы связей, характерные для межвидовых отношений, но наиболее ярко выражены мутуалистические (взаимно полезные) и конкурентные. Во всех случаях в популяциях действуют законы, позволяющие таким образом использовать ограниченные ресурсы среды, чтобы обеспечить оставление потомства. Достигается это в основном через количественное изменение населения. Популяции многих видов обладают свойствами, позволяющими им регулировать свою численность.

Поддержание оптимальной в данных условиях численности называют гомеостазом популяции. Гомеостатические возможности популяций по-разному выражены у различных видов. Осуществляются они через взаимодействия особей.

Таким образом, популяции, как групповые объединения, обладают рядом специфических свойств, которые не присущи каждой отдельной особи. Групповые особенности — это основные характеристики популяций. К ним относятся:

1) *численность* — общее количество особей на выделяемой территории. Пространственная структура популяции определяется

особенностями расселения её на территории. Часто отдельные особи образуют скопления, группы, стаи, «семьи»;

2) *плотность* — среднее число особей на единицу площади или объёма, занимаемого популяцией пространства. Плотность популяции можно выражать также через массу членов популяции в единице пространства;

3) *рождаемость* — число новых особей, появившихся за единицу времени в результате размножения. Рождаемость характеризует способность популяции к воспроизведению, частоту появления новых особей;

4) *смертность* — показатель, отражающий количество погибших в популяции особей за определённый отрезок времени, то есть скорость уменьшения численности популяции;

5) *прирост популяции* — разница между рождаемостью. Прирост может быть как положительным, так и отрицательным;

6) *темп роста* — средний прирост за единицу времени.

*Динамика популяции* — изменение численности организмов во времени. Она зависит от многих факторов. Благоприятные климатические условия, достаточное количество пищи, ослабление хищничества приводят к росту плодовитости и рождаемости, увеличению численности. И наоборот, снижение кормовой базы, усиление конкуренции, неблагоприятные условия уменьшают численность особей. Способность популяции к саморегулированию для поддержания численности на определённом уровне называется гомеостазом популяции.

Одним из самых мощных факторов, регулирующих численность организмов, является антропогенный. Человек может искусственно уменьшать или увеличивать численность популяций.

Популяции свойственна определённая организация. Распределение особей по территории, соотношения групп по полу, возрасту, морфологическим, физиологическим, поведенческим и генетическим особенностям отражают структуру популяции. Она формируется, с одной стороны, на основе общих биологических свойств вида, а с другой — под влиянием абиотических факторов среды и популяций других видов. Структура популяций имеет, следовательно, приспособительный характер. Разные популяции одного вида обладают как сходными особенностями структуры, так и отличительными, характеризующими специфику экологических условий в местах их обитания.

Таким образом, кроме адаптивных возможностей отдельных особей, население вида определённой территории характеризуется ещё

и приспособительными чертами групповой организации, которые являются свойствами популяции как надывидуальной системы. Адаптивные возможности вида в целом как системы популяций значительно шире приспособительных особенностей каждой конкретной особи.

Исследование структуры популяции имеет важное практическое значение: они позволяют проводить оптимальный отлов промысловых животных, прогнозировать вспышки численности вредителей и т. п. Размеры популяции могут возрасти в результате иммиграции из соседних популяций или за счёт размножения особей. Одним из показателей размножения является плодовитость, которая измеряется числом потомков одной женской особи. Плодовитость можно выражать различными способами, зависящими от целей изучения и от особенностей изучаемого организма. Говоря о млекопитающих, пользуются термином «рождаемость», которую определяют как число потомков, производимых одной самкой за год. У человека рождаемость обычно выражается числом рождений на 1 000 человек за год. Но самый важный фактор — это баланс рождаемости и гибели. В результате взаимных приспособлений разных видов в биогеоценозе устанавливается определённый для каждого вида уровень колебаний. Для одних видов колебания не велики, для других могут быть значительными, и вид, редкий в данном году, в следующем году может стать обычным или наоборот. К примеру, уменьшение пищи ведёт к уменьшению популяции. В следующем году пищи много — популяция увеличивается. А увеличение популяции быстрыми темпами очень скоро тормозится, так как резко увеличивается число паразитов. Очень часто на численность влияет погода. Процесс саморегуляции проявляется в том, что всё разнообразное население существует совместно, не уничтожая полностью друг друга, а лишь ограничивая численность особей.

*Сообщество организмов (биоценоз)* — совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых видов в пределах некоторого естественно ограниченного объёма жизнепригодного пространства. Принято отдельно рассматривать сообщества растений (фитоценоз), животных (зооценоз) и микроорганизмов (микробоценоз). Границы сообщества определяются абиотическими и биотическими факторами, а также его способностью к созданию собственной биосреды. Сообщество — не просто сумма образующих его видов, но и совокупность взаимодействий между ними. Сообщество функционирует как динамическая единица с различными трофическими

уровнями, через него проходит поток энергии и совершается круговорот питательных веществ. Вместе с неживыми (абиотическими) компонентами среды сообщество составляет экосистему. Как и популяция, сообщество имеет собственные свойства, проявляющиеся только при изучении его самого, как, например, видовое разнообразие, структура пищевой сети, биомасса, продуктивность. Одна из главных задач экологии — выяснить взаимосвязи между свойствами и структурой (составом) сообщества, которые проявляются независимо от того, какие виды входят в него.

Каждый организм живёт в окружении множества других организмов, вступает с ними в самые разнообразные отношения, как с отрицательными, так и с положительными для себя последствиями, и в конечном счёте не может существовать без этого живого окружения. Связь с другими организмами — необходимое условие питания и размножения, возможность защиты, смягчения неблагоприятных условий среды, а с другой стороны — это опасность ущерба и часто даже непосредственная угроза существования индивидуума. Всю сумму воздействий, которую оказывают друг на друга живые существа, объединяют под названием биотические факторы среды.

Непосредственно живое окружение организма составляет его биоценотическую среду. Представители каждого вида способны существовать лишь в таком живом окружении, где связи с другими организмами обеспечивают им нормальные условия жизни. Иными словами, многообразные живые организмы встречаются на земле не в любом сочетании, а образуют определённые сожительства или сообщества, в которые входят виды, приспособленные к совместному обитанию. Группировки совместно обитающих и взаимно связанных организмов называют биоценозами (от латинского *bios* — жизнь, *cenos* — общий). Приспособленность членов биоценоза к совместной жизни выражается в определённом сходстве требований к важнейшим абиотическим условиям среды и закономерных отношениях друг с другом.

Масштабы биоценологических группировок организмов очень различны, от сообществ подушек лишайников на стволах деревьев или разлагающегося пня до населения целых ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т. п.

Термин «биоценоз» в современной экологической литературе чаще употребляют применительно к населению территориальных участков, которые на суше выделяют по относительно однородной растительности (обычно по границам растительных ассоциаций),

например, биоценоз ельника-кисличника, большого суходольного луга, сосняка-беломошника, большой ковыльной степи, пшеничного поля и т. д. При этом имеется в виду вся совокупность живых существ, растений, животных микроорганизмов, приспособленных к совместному обитанию на данной территории. В водной среде различают биоценозы, соответствующие экологическим подразделениям частей водоёмов, например, больших прибрежных галечных, песчаных или илистых грунтов, абиссальных глубин, пелагических больших крупных водоворотов водных масс и т. п.

**Экосистема** — это любое сообщество живых существ вместе с его физической средой обитания, функционирующее как единое целое. Рассмотрение экосистемы важно в тех случаях, когда речь идёт о потоках вещества и энергии, циркулирующих между живыми и неживыми компонентами природы, о динамике элементов, поддерживающих существование жизни, об эволюции сообществ. Ни отдельный организм, ни популяцию, ни сообщество в целом нельзя изучать в отрыве от окружающей среды. Экосистема, по сути, это то, что мы называем природой. Экосистема — понятие очень широкое и применимо как к естественным (тундра, океан), так и к искусственным комплексам (аквариум). Поэтому для обозначения элементарной природной экосистемы экологи также используют термин «биогеоценоз».

**Биогеоценоз** — исторически сложившаяся совокупность живых организмов (биоценоз) и абиотической среды вместе с занимаемым ими участком земельной поверхности (биотопом). Граница биогеоценоза устанавливается по границе растительного сообщества (фитоценоза) — важнейшего компонента биогеоценозов. Для каждого биогеоценоза характерен свой тип вещественно-энергетического обмена.

Таким образом, биогеоценоз — это составная часть природного ландшафта и элементарная биотерриториальная единица биосферы. Все природные экосистемы связаны между собой и вместе образуют живую оболочку Земли, которую можно рассматривать как самую большую экосистему, называемую биосферой.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите основные задачи экологии (теоретической и практической).
2. Перечислите основные виды и формы межвидовых отношений.
3. Что такое вид?

## ТЕМА 2

# УЧЕНИЕ В. И. ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

1. Структура биосферы и экосферы.
2. Строение биосферы. Структура атмосферы, гидросферы, литосферы.
3. Среда и пределы жизни биосферы.
4. Основные этапы развития биосферы.
5. Отличительные признаки ноосферы. Техногенез.

## 1. Структура биосферы и экосферы

Согласно воззрениям Владимира Ивановича Вернадского, с момента возникновения жизни на нашей планете происходил процесс длительного формирования определённого единства живой и неживой материи, то есть **биосферы**. Вернадский назвал биосферой оболочку Земли, в пределах которой сосредоточено всё живое вещество планеты. В этом плане он различал газовую (атмосфера), водную (гидросфера) и каменную (литосфера) оболочки Земли как составляющие биосферы, области распространения жизни.

В современном представлении *биосфера* — это сложная большая динамическая система, состоящая из многих компонентов живой и неживой природы, совершающих постоянный круговорот веществ. Живые организмы, существующие, стареющие и умирающие в течение сотен миллионов лет, порождают всеобщий планетарный процесс — миграцию химических элементов, движение земных атомов. Живое вещество рассматривается В. И. Вернадским в качестве носителя свободной энергии в биосфере.

Вещество биосферы, по мнению В. И. Вернадского, сложно и имеет несколько компонентов.

1. *Живое вещество* — совокупность всех живых организмов на планете (растений, животных, микроорганизмов).

2. *Биогенное вещество* — вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами на протяжении геологической истории (каменный уголь, битумы, известняки, нефть и др.).

3. *Костное вещество* (твёрдое, жидкое, газообразное) — веще-

ство неорганического происхождения, то есть образуемое в процессах, в которых живое вещество не участвует.

4. *Биокосное вещество* — вещество, которое создаётся одновременно в процессах неорганической природы, причём организмы играют ведущую роль (сюда относится почти вся вода биосферы, почвы, ила).

5. *Вещество, находящееся в процессе радиоактивного распада*, — радиоактивные элементы.

6. *Рассеянные атомы*, непрерывно образующиеся из различных видов земного вещества под влиянием космического излучения. Пределом рассеяния можно считать концентрацию, соответствующую одному атому в  $1 \text{ см}^3$  вещества.

7. *Вещество космического происхождения* — космическая пыль, обломки метеоритов и т. д.

8. *Живое вещество* контролирует все основные химические превращения в биосфере. Вернадский писал: «Живое вещество охватывает всю биосферу, её создаёт и изменяет, но по весу и объёму оно составляет небольшую его часть. Но геологически оно является самой большой силой в биосфере и определяет все идущие к ней процессы и развивает огромную свободную энергию».

## Биохимические функции биосферы

Вернадский выделил девять интегральных биохимических функций биосферы, и в том числе *живого вещества*: газовую, кислородную, окислительную, кальциевую, восстановительную, концентрационную, функцию разложения органических соединений, функцию восстановительного разложения органических соединений и функцию метаболизма и дыхания организмов. С учётом данных современной науки их можно объединить в несколько основных функций живого вещества: энергетическую, газовую, концентрационную, деструктивную и средообразующую.

*Энергетическая функция* выполняется в основном растениями. В основе этой функции лежит процесс фотосинтеза, то есть аккумуляирования зелёными растениями солнечной энергии и дальнейшее её перераспределение между остальными компонентами биосферы. За счёт накопленной солнечной энергии протекают все жизненные явления на Земле. Часть энергии накапливается в отмершей органике, образуя залежи биогенного вещества (торфа, угля, нефти), а часть рассеивается в пространстве в виде тепла.

*Газовая функция* обуславливает миграцию газов и их превращение, обеспечивает газовый состав биосферы. Живые существа обмениваются кислородом и углекислым газом с окружающей средой в процессах фотосинтеза и дыхания растений и животных. Растения сыграли решающую роль в смене восстановительной среды на окислительную в геохимической эволюции планеты и в формировании состава современной атмосферы. Они строго контролируют концентрации  $O_2$  и  $CO_2$ , оптимальные для всей современной биоты.

*Концентрационная функция* заключается в избирательном извлечении и накоплении живыми организмами биогенных элементов окружающей среды, то есть живые организмы осуществляют биогенную миграцию и концентрирование химических элементов и их соединений (атомы водорода, углерода, азота, кислорода, натрия, магния алюминия, кремния, серы, хлора, калия, кальция, их концентрация в теле живых организмов в сотни и тысячи раз выше, чем во внешней среде). Это относится не только к биосинтезу органики, но и к таким явлениям, как строительство раковин и скелетов, образование коралловых островов, толщ осадочных известняков, месторождений серы, некоторых металлических руд, скоплений железа — марганцевых конкреций на дне океана и т. д. Ранее этапы биологической эволюции проходили в водной среде.

Благодаря этой функции живые организмы могут служить для человека источником как полезных для здоровья веществ (витаминов, аминокислот), так и опасных (тяжёлых металлов, радиоактивных элементов, ядохимикатов).

*Окислительно-восстановительная функция* живого вещества тесно связана с биогенной миграцией элементов и концентрированием веществ. Многие вещества в природе устойчивы и не подвергаются окислению при обычных условиях, например, молекулярный азот — один из важнейших биогенных элементов. Но живые клетки располагают настолько эффективными катализаторами — ферментами, что способны осуществлять многие окислительно-восстановительные реакции в миллионы раз быстрее тех, что протекают в абиогенной среде.

*Деструктивная функция* обуславливает процессы, связанные с разложением мёртвой органики, с химическим разложением горных пород и вовлечением образовавшихся веществ в биотический круговорот. В результате этого образуются биокосные и биогенные вещества, происходит минерализация органики, то есть превращение её в косное вещество.



*Информационная функция живого вещества биосферы.* Именно с появлением первых примитивных живых существ на планете появилась и активная («живая») информация, которая является простым отражением структуры. Организмы оказались способными к получению информации путём соединения потока энергии с активной молекулярной структурой, играющей роль программы. Способность воспринимать, хранить и перерабатывать молекулярную информацию совершила опережающую эволюцию в природе и стала важным экологическим системообразующим фактором.

Согласно имеющимся оценкам, запас генетической информации во всей биоте биосферы (общая сумма пар нуклеотидов ДНК всех видов) составляет около  $10^{15}$  бит, а полная её смена в ходе эволюции происходит за  $3 \cdot 10^8$  лет, или за  $10^{16}$  секунд. Отсюда информационная скорость биологической эволюции приблизительно равна 0,1 бит/с, а информационная скорость технического прогресса в XX веке, определяемая запасом научно-технической информации человечества ( $10^{15}$  бит) и средним временем смены технологий (примерно 10 лет, или  $3 \cdot 10^8$  с), составляет около  $3 \cdot 10^6$  бит/с. Суммарная мощность информационных потоков в техносфере с учётом современного уровня компьютеризации близка к  $10^{16}$  бит/с, но в биоте биосферы она несравненно больше. Все трансформации энергии в живых клетках осуществляются информационными макромолекулами, энергетическая мощность биосферы оценивается величиной  $7,3 \cdot 10^{13}$  Вт (то есть Дж/с); для средней температуры биосферы  $16,7^\circ\text{C}$  информационный эквивалент энергии равен  $3,6 \cdot 10^{20}$  бит/Дж; отсюда скорость переработки информации биотой биосферы составляет  $2,6 \cdot 10^{34}$  бит/с.

*Биогеохимическая деятельность человека* — охватывает всё разрастающееся количество веществ земной коры, в том числе таких концентраторов углерода, как уголь, нефть, газ и др., для хозяйственных и бытовых нужд человека.

Перечисленные функции живого вещества биосферы обращены 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 озёр, от них во многом зависит солевой состав природных вод

и распределение химических веществ между сушей и океаном. Благодаря растениям, животным и микроорганизмам создаётся почва и поддерживается её плодородие. Наконец, биота — главное богатство планеты и окружающей человека среды — одарила человека пищей, одеждой, множеством других вещей. Следует чётко представлять, что окружающая среда — это не фиксированная физическая данность, а живое дыхание природы, каждое мгновение воссоздаваемое 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 важные параметры окружающей среды, несмотря на исключительную сложность и динамичность регулируемой системы. Таким образом, биота биосферы формирует и контролирует состояние окружающей среды.

Вся биосфера как глобальная экологическая система осуществляет фундаментальный обратимый химический процесс, составляющий основу биотического круговорота. Из атмосферного углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза в растениях образуется органическое вещество и выделяется кислород, а в обратной реакции — в окислении и распаде органических веществ — потребляется кислород и вновь образуются углекислый газ и вода.

## 2. Строение биосферы. Структура атмосферы, гидросферы, литосферы

Биосфера включает в себя нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхние слои литосферы (рис. 2.1). Границы этих элементов биосферы определяются условиями, при которых возможно существование живых организмов. Нижняя граница биосферы опускается на 2–3 км от поверхности и на 1–2 км ниже дна океана. Нижний предел жизни связан с повышением температуры в земных недрах. Предельная температура существования большинства живых организмов — 80–100 °С, а активность эти организмы сохраняют в интервале температур — 0–30 °С. Верхней границей биосферы служит

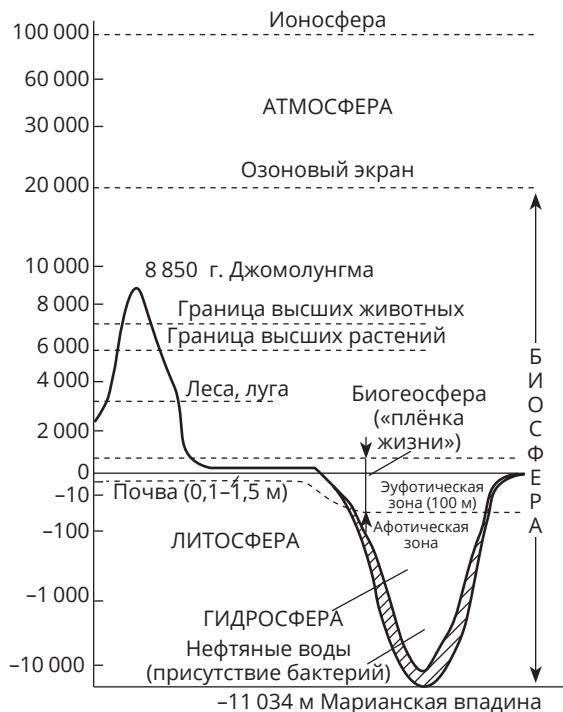


Рис. 2.1. Строение биосферы

защитный озоновый слой. Общая протяжённость биосферы по вертикали составляет 33–35 км.

**Атмосфера** — газовая оболочка Земли, масса которой составляет  $(5,15-5,9) \cdot 10^{15}$  т. Атмосфера состоит из нескольких сфер, или слоёв — тропосфера, стратосфера, мезосфера, ионосфера (термосфера) и экзосфера, между которыми располагаются переходные слои — паузы.

**Тропосфера** — это нижняя часть атмосферы, в которой сосредоточено более 80 % массы всей атмосферы, равной  $5 \cdot 10^{18}$  кг. На экваторе она простирается до высоты 16–18 км, в умеренных широтах — до 10–11 км, а на полюсах — до 8 км. Область, где наиболее интенсивно протекают тепловые процессы, тепловая энергия в основном подводится снизу от поверхности земли и океана. Физические процессы, протекающие в тропосфере, оказывают глубокое влияние на климат планеты, на процессы поглощения солнечной радиации, на кругооборот воды, связанный с образованием облаков

и выпадением осадков, толщина тропосферы составляет от 7 до 18 км, на её долю приходится 3/4 всей земной атмосферы. Температура воздуха в тропосфере по высоте уменьшается примерно на 0,6 °С на каждые 100 м и колеблется от +40 до –50 °С.

Высота 11,8 км принимается за среднюю границу тропосферы, называемую *тропопаузой*, которая находится над экватором на высоте 16–18 км, над умеренными широтами — 10–12 км, над полярными — 8–10 км.

Выше тропосферы до высоты 50–55 км располагается **стратосфера**. Температура у её верхней границы повышается, что связано с наличием здесь пояса озона. В стратосфере находится около 20 % всей массы атмосферы. На высотах 20–30 км (в зависимости от широты) находится максимальная концентрация озона — озоновый слой — **озоносфера**. Высота озонового слоя у полюсов 7–8 км, у экватора 17–18 км. Максимальная высота присутствия озона составляет 45–50 км.

Далее располагается **мезосфера** — верхняя граница этого слоя располагается до высоты 80 км. Главная её особенность — резкое понижение температуры (–75...–90 °С) у её верхней границы. Здесь фиксируются серебристые облака, состоящие из ледяных кристаллов. Верхней границей мезосферы является мезопауза, в зоне которой температура достигает примерно 190 К, после мезопаузы температура в атмосфере вновь возрастает. Эта область протяжённостью 90 км называется **термосферой** или **ионосферой**. Химический состав воздуха до высоты 100 км остаётся практически постоянным: азот — 78,09 %, кислород — 20,94 %, аргон — 0,93 %, диоксид углерода — 0,03 %, остальные газы — в микроколичествах. Выше 600 км в атмосфере преобладает гелий, а выше 2 000–3 000 км — водород. **Ионосфера** (термосфера) — располагается до высоты 800 км, для неё характерно значительное повышение температуры (более 1 000 °С). Под действием ультрафиолетового излучения Солнца газы находятся в ионизированном состоянии. С ионизацией связано свечение газов и возникновение полярных сияний. Ионосфера обладает способностью многократного отражения радиоволн, что обеспечивает дальнюю радиосвязь на Земле.

**Экзосфера** — располагается выше 800 км и простирается до 2 000–3 000 км, здесь температура превышает 2 000 °С. Скорость движения газов приближается к критической величине 11,2 км/с. Господствуют атомы водорода и гелия, которые образуют вокруг Земли корону, простирающуюся до высоты 20 тыс. км.

**Гидросфера** — водная оболочка Земли, она включает в себя совокупность поверхностных вод, а также воду, находящуюся в пределах литосферы и атмосферы. Основная часть поверхностных вод заключена в Мировом океане, который занимает 71 % поверхности земного шара и включает примерно 96 % общего запаса свободной воды. По весу вода на 11,11 % состоит из водорода  $H_2$  и на 88,99 % из кислорода  $O_2$ . Вода имеет три структурные формы: водяной пар (гидроль) —  $H_2O$ ; жидкая вода (дигидроль) —  $(H_2O)_2$ ; лёд (тригидроль) —  $(H_2O)_3$ . Общее количество воды на земле —  $(1,5-2,5) \cdot 10^{18}$  т, или 1,5–2,5 млрд км<sup>3</sup>. Средняя солёность океанской воды 3,5 ‰, или 35 г/л, (35 г/кг), а в солёных озёрах содержится до 300 г/кг солей. Солёность глубоко залегающих подземных вод может достигать до 600 г/кг. Доля пресных вод составляет 2,5 ‰, однако 70 % этой воды сосредоточено в ледниковых покровах. Пресные воды залегают до глубины 150–200 м, ниже переходят в солоноватые. Подземные воды включают в себя лёд в толще многолетней мерзлоты.

Свободные воды гидросферы по вертикали делятся на две зоны. Верхняя зона — эуфотическая, определяется глубиной проникновения солнечного света (в среднем 200 м). В этой зоне протекает деятельность фотосинтезирующих организмов (растений, некоторых бактерий). В нижних слоях, куда не проникает солнечный свет, — афотическая зона — обитают живые организмы, использующие готовые органические вещества, синтезированные организмами эуфотической зоны.

**Литосфера** — внешняя относительно прочная оболочка земли. Поверхность земли обладает значительной неоднородностью по высоте; от 8848 м над уровнем моря (г. Джомолунгма) до 11034 м (Марианская впадина). Жизнь в литосфере концентрируется только в поверхностном слое земной коры, в основном в почве. **Почва** — это особое природное образование, обладающее рядом свойств, присущих живой и неживой природе, которыми она отличается от материнской горной породы. Почва образовалась в результате взаимодействия воды, воздуха и организмов. В. И. Вернадский характеризовал почву как смесь остатков живых организмов и косных (неорганических) веществ. Соотношение трёх фаз в почве — твёрдых минеральных веществ, жидкости и воды — определяют основные физические свойства почвы как среды обитания живых организмов.

### 3. Среда и пределы жизни биосферы

Жизнь любого организма во всех формах её проявления возможна только при постоянном взаимодействии с окружающей средой, которую составляет неорганическая и органическая природа. Неорганическая среда биосферы подразделяется на литосферу, гидросферу и атмосферу. Жизнь в литосфере концентрируется только в поверхностном слое земной коры — в почве, которая является особым телом планеты. В. И. Вернадский характеризовал почву как биокосное тело, состоящее одновременно из живых и косных (неорганизованных тел). Из этого следует, что почва на земле возникла с живой материей — пока не было живых организмов, не могло быть и почвы.

Особенностью водной среды является то, что гидробионты заселяют всю её толщу от поверхностной плёнки до глубины в океанских впадинах (до 10 000 м).

Атмосфера представляет собой газообразную оболочку Земли. Все организмы, особенно наземные и почвенные, тесно с ней связаны. В воздушной среде значительную часть своей жизни проводят птицы и насекомые, но чаще всего организмы существуют на границе сред или периодически переходят из одной в другую. Наземные растения живут в почве (корни) и в воздушной среде (стебли и листья).

Таким образом, в пределах биосферы выделяются четыре среды жизни — вода, воздух, почва и организмы (для симбионтов и паразитов). В каждой среде имеются свои обитатели — монобионты.

Условно нижнюю границу биосферы можно провести по изотерме 100 °С (критическая температура для развития большинства бактерий). В большей части территории Европы она проходит на глубине 10 000–15 000 м в молодых альпийских прогибах — 1 500–2 000 м. Наиболее стойкие обитатели Земли — бактерии — встречаются в нефтяных водах на глубине 1 700 м, на дне океанов (до 10 000 м), в рассолах с концентрацией 250 г/л.

Распространение жизни в пределах биосферы вверх ограничивается ещё сильнее. Хлорофиллоносные растения не поднимаются в горы выше, чем на 6 200 м из-за того, что там низкое парциальное давление углекислого газа и отсутствует жидкая вода, тем не менее выше зоны растений в горах встречаются пауки, ногохвостики, клещи и др. В различных частях биосферы плотность жизни неодинакова.

Наиболее высокая плотность жизни в Мировом океане на мелководьях (литораль), в умеренных, субтропических и тропических поясах на суше, а наименее — в холодных полярных и субполярных областях, в засушливых местах и пустынях, на высокогорьях, океанических впадинах. Это связано с тем, что, к примеру, все фотосинтезирующие организмы могут обитать лишь в тех частях биосферы, куда проникает достаточное количество солнечной энергии (в прозрачных водах 1 000 м), и распространение зелёных растений и других фотосинтезирующих организмов в биосфере зависит от степени влияния солнечной энергии. Но область распространения жизни не ограничивается светом. Так, на глубине 6 000 м в абсолютной темноте живут погонофоры, некоторые черви, полипы.

Тем не менее считается, что биосфера как область жизни охватывает верхнюю часть литосферы (до 15 км в глубину), всю гидросферу (до 10 км в глубину) и нижнюю часть атмосферы (всю тропосферу и нижние слои стратосферы в высоту до 25 км).

Таким образом, в целом биосфера представлена слоем распространения жизни по вертикали около 40 км, хотя потоками воздуха микроорганизмы иногда могут заноситься и выше 25 км.

Границы жизни являются в высшей степени условными и завышенными. Реальные обычно более суженные.

## 4. Основные этапы развития биосферы

Если рассматривать уровни содержания кислорода в атмосфере как границы этапов развития биосферы, то с этой точки зрения биосфера прошла три этапа: восстановительный; слабоокислительный; окислительный.

**Восстановительный этап в развитии биосферы.** Этот этап развития биосферы начался ещё в космических условиях и завершился появлением на Земле гетеротрофной биосферы. На этом этапе развития биосферы появились малые сферические анаэробы и прокариоты. Физиологические процессы этих организмов основывались не на кислородном окислении, а на дрожжевом брожении. Изначально в атмосфере Земли присутствовали лишь следы свободного кислорода. Производство свободного кислорода начали первые организмы, но количество кислорода было незначительным, что

приводило лишь к окислительным процессам на земной поверхности и в океане.

Поскольку первые организмы были гетеротрофами, они нуждались в питании. Пищей для них стали ранее накопленные органические соединения, растворённые в водах первичного океана, но жизнь нуждалась в дополнительных источниках энергии. Поэтому на ранних стадиях эволюции живые организмы активно использовали различного рода радиацию. По мнению А. И. Перельмана, особенно важную роль играл радиоактивный калий, который поглощался первыми организмами. Потребность в калии впоследствии закрепилась генетически, хотя для более высокоорганизованных форм радиоактивность перестала служить источником энергии.

Продолжительность существования первичной восстановительной биосферы в геологических масштабах была невелика. Причина этого заключалась в том, что первичные гетеротрофные организмы быстро размножились и, естественно, довольно быстро исчерпали свою питательную базу. Поэтому, достигнув максимальной биомассы, они должны были либо вымирать от голода, либо перейти к автотрофному (фотосинтетическому) способу питания.

**Слабоокислительный этап в развитии биосферы** связан с появлением около 4 млрд лет назад процесса фотосинтеза. Новый способ питания был основан на том, что некоторые простые соединения обладают способностью поглощать свет, если в их составе есть атом магния (как в хлорофилле). Уловленная таким способом световая энергия может быть использована для усиления реакций обмена, в том числе и для образования органических соединений, которые при необходимости могут расщепляться с высвобождением энергии. Именно таким путём происходило образование хлорофилла, приведшее в конечном итоге к появлению фотосинтеза, позволившего получать энергию непосредственно от Солнца.

Но первичная поверхность Земли, лишённая свободного кислорода, облучалась ультрафиолетовой радиацией Солнца. Поэтому, возможно, первые фотохимические организмы использовали радиацию ультрафиолетовой части спектра. Только после возникновения озонового экрана (в связи с появлением свободного кислорода как побочного продукта того же фотосинтеза) автотрофные фотосинтезирующие организмы начали использовать излучение в видимой части солнечного спектра.

Новый способ питания способствовал быстрому расселению организмов нового типа у поверхности первичных водоёмов. Ока-



завшись более приспособленными, они вытеснили первичные гетеротрофные организмы. Можно предполагать, что в первичном океане шла борьба между первичными и вторичными организмами, завершившаяся победой автотрофов. Немаловажным фактором в этой борьбе стало то, что автотрофы в качестве отходов своей жизнедеятельности выделяли свободный кислород, который стал смертельным ядом для первичных гетеротрофов.

Первыми автотрофными организмами, очевидно, были цианеи, а затем зелёные водоросли. Останки их находят в породах архейского возраста (около 3 млрд лет назад). В то время, очевидно, существовало множество видов водорослей, как свободно плавающих в воде, так и прикрепленных ко дну. Хотя свободный кислород и был сильнодействующим токсином для первичных аэробов, не все они погибли. Некоторые остались жить в болотах, где не было свободного кислорода. Там, питаясь, они выделяли метан. Некоторые же первичные организмы смогли приспособиться к кислородной атмосфере.

Параллельно с этим шёл процесс формирования эукариотов. Прокариоты — простые, выносливые и практически бессмертные организмы — уступали место смертным эукариотам. Прокариоты, обладавшие высокой вариабельностью, способностью к быстрому размножению, легко приспосабливались к меняющимся условиям среды, существовавшим в первые периоды истории Земли. Но с формированием кислородной атмосферы условия стабилизировались, и в этих новых условиях нужны были организмы нового типа, приспособленные к ним. Нужна была не генетическая гибкость, а генетическая стабильность. Эукариоты появились к концу второго этапа развития биосферы Земли.

Рассмотренные процессы составили содержание второго этапа в истории развития биосферы Земли, продолжавшегося до завершения осадконакопления полосчатых железистых формаций докембрия примерно 1,8 млрд лет назад. Таким образом, этот период в истории биосферы занял почти половину всей геологической истории планеты. Дело в том, что хотя свободный кислород и появлялся в значительных количествах, но он расходовался не на образование атмосферы, а на окисление железа, сернистых соединений и других поливалентных металлов. При этом окислы железа осаждались, образуя полосчатые формации. Только после освобождения океана от железа и других металлов концентрация кислорода в атмосфере стала резко возрастать.

В естествознании существует понятие «точки Пастера» — такой концентрации свободного кислорода, при которой кислородное дыхание становится более эффективным (примерно в 50 раз) способом использования внешней энергии Солнца, чем анаэробное брожение. Этот критический уровень примерно равен 0,01 от современного показателя содержания кислорода в атмосфере. После перехода через точку Пастера преимущество в естественном отборе получают организмы, способные к кислородному дыханию. С этого момента начинается третий этап в эволюции биосферы Земли.

**Окислительный этап в эволюции биосферы.** Третий этап эволюции биосферы связан с развитием фотоавтотрофной биосферы Земли. С этого момента количество кислорода в атмосфере начало резко повышаться. Ещё в протерозое (2,6 млрд — 570 млн лет назад) эукариоты разделились на растительные и животные клетки. Большой частью растительных клеток использовался фотосинтез. Благодаря этому концентрация кислорода в атмосфере возрастала, и его уже стало хватать для процессов дыхания. Тогда же в океане появились первые многоклеточные организмы.

Около 400 млн лет назад (конец ордовика — начало силура), когда концентрация свободного кислорода в атмосфере достигла 10 %, возник озоновый экран, предохраняющий живое вещество от жёсткого излучения, и жизнь вышла из моря на сушу. Как только это случилось, резко возросла интенсивность реакций фотосинтеза, а следовательно, и поступление кислорода в атмосферу. Всего за 100 млн лет концентрация кислорода достигла современного значения в 21 %. После этого состав атмосферы практически не менялся до наших дней.

Выход жизни на сушу обусловил резкое увеличение массы живого вещества. Одновременно жизнь проникала всё глубже в океан. Наземные растения, отмирая, положили начало образованию угля, нефти, газа, горючих сланцев. Благодаря деятельности живых организмов резко возрос круговорот кислорода и углекислого газа. Эти процессы, а также постепенное снижение уровня радиации стимулировали и ускоряли усложнение живого вещества, вели к появлению новых, более высокоорганизованных видов. Так, на суше появились папоротники, хвощи, семенные папоротники. Развитие наземной растительности и образование почв создали предпосылки для выхода на поверхность континента животных. В результате эволюции растительного мира в мезозойской эре (около 200 млн лет назад) возникли леса хвойных и цветковых растений. Сформировались

основные типы и классы беспозвоночных, а также позвоночных, исключая птиц и млекопитающих. Если для первой половины палеозоя характерно господство водных, преимущественно морских беспозвоночных, появление рыбообразных и рыб, преобладание различных водорослей, то для второй половины — освоение суши растениями и животными (беспозвоночными, земноводными и пресмыкающимися).

Эволюция биосферы осуществлялась на протяжении её большей части истории под влиянием двух главных факторов:

1) естественных геологических и климатических изменений на планете;

2) изменений видового состава и количества живых существ в процессе биологической эволюции.

В третичном периоде кайнозойской эры добавился третий (современный) фактор — человеческое общество. Соответственно, этап биогенеза в эволюции биосферы сменился этапом **ноогенеза**. Таким образом, на Земле сформировалась богатая, насыщенная жизнью природа, которая называется биосфера.

Формирование и развитие биосферы предстаёт как чередование этапов эволюции, прерываемых скачкообразными переходами в качественно новые состояния, в результате чего образовывались всё более сложные формы живого вещества. В истории биосферы бывали временные остановки прогрессивного развития, но они никогда не переходили в стадию деградации, поворота развития вспять. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть на основные вехи в истории развития биосферы:

1. Появление простейших клеток-прокариотов.

2. Появление значительно более организованных клеток-эукариотов.

3. Объединение клеток-эукариотов с образованием многоклеточных организмов, функциональная дифференциация клеток в организме.

4. Появление организмов с твёрдыми скелетами и формирование высших животных.

5. Возникновение у высших животных развитой нервной системы и формирование мозга как органа сбора, систематизации, хранения информации и управления на её основе поведением организмов.

6. Формирование разума как высшей формы деятельности мозга.

7. Образование социальной общности людей — носителей разума.

Геохимическую деятельность человечества А. Е. Ферсман назвал *техногенезом*, главную роль в нём играет техногенная миграция, но ей свойственны и механическая, и физико-химическая, и биогенная миграция. Этап геологической истории, когда техногенез стал важным геохимическим фактором, В. А. Зубков предложил называть *техногеом*. Этап этот начался примерно 8 000 лет назад, но только в XX в. техногенез стал главным геохимическим фактором на поверхности Земли. Непрерывное усиление техногенеза приводит к ряду существенных эколого-геохимических изменений в биосфере. Одним из первых на это обратил внимание В. И. Вернадский. Им было отмечено, что под воздействием антропогенной деятельности биосфера начала переходить в новое состояние. Таким образом, вместо биосферы, подчиняющейся в своём развитии природным закономерностям, возникает новая сфера, которая, как и биосфера, пронизана жизнью, но в своём развитии подчиняется не только природным закономерностям, но и техногенезу. Эта сфера получила название *ноосферы* — *сферы разума*. **Ноосфера** («мыслящая оболочка», сфера разума) — высшая стадия развития биосферы. Это «сфера взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным, определяющим фактором развития».

Следовательно, ноосфера, как писал В. И. Вернадский, «есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше». В. И. Вернадский подчёркивал, что деятельность человека имеет как положительные, так и отрицательные последствия. К числу негативных проявлений нарушения экологического равновесия в природных процессах относятся:

- 1) химическое загрязнение компонентов биосферы;
- 2) опасность неконтролируемого, неуправляемого использования атомной энергии.

## 5. Отличительные признаки ноосферы. Техногенез

Первое существенное отличие ноосферы от биосферы — *огромное ускорение миграции*. Процессы техногенеза можно разбить на две группы. Первая группа процессов унаследована от биосферы. К ней относятся: 1) биологический круговорот; 2) круговорот воды; 3) рассеяние элементов; 4) распыление вещества. При изучении этих процессов в техногенезе используются понятия и методы, разработанные для анализа природных процессов.

Техногенные процессы *второй группы* находятся в резком противоречии с природными условиями. Так, характерное для ноосферы металлическое состояние Fe, Ni, Cr, V и многих других элементов не свойственно природе, не соответствует физико-химическим условиям земной коры. Человек здесь уменьшает энтропию, ему приходится тратить много энергии, чтобы получить и содержать данные элементы в свободном состоянии. В ноосфере всё больше изготавливают химических соединений, никогда раньше не существовавших и обладающих свойствами, неизвестными у природных материалов (это искусственные полимеры, лекарства, лаки, краски, сплавы и т. д.). Новым для биосферы является и производство атомной энергии, радиоактивных изотопов, сверхчистых веществ. Для характеристики процессов второй группы вводятся новые понятия и подходы к исследованиям. Специфическими показателями техногенеза являются *технофильность, деструктивная активность элемента, техногенное геохимическое давление, модуль техногенного геохимического давления*.

Количество добываемых элементов далеко не одинаково, так же как и неодинаково их содержание в земной коре. Отношение ежегодной добычи элемента ( $D$ ) к его кларку в земной коре ( $K$ ) получило название *технофильность*:  $T = D/K$ . Например,  $T_{Fe} = (3,1 \cdot 10^8)/4,65 = 6,6 \cdot 10^7$ ;  $T_{Mn} = (6,0 \cdot 10^6)/0,1 = 6,0 \cdot 10^7$ ;  $T_{Cu} = (5,4 \cdot 10^6)/(4,7 \cdot 10^{-3}) = 1,1 \cdot 10^9$ ;  $T_{Ag} = (8,0 \cdot 10^3)/(7,0 \cdot 10^{-6}) = 1,1 \cdot 10^9$ . Из этих данных видно, что значения технофильности меди и серебра, железа и марганца одинаковы, несмотря на их различную распространённость в земной коре, в то же время технофильность марганца заметно ниже технофильности меди, хотя уровни их добычи вполне сопоставимы. Самым технофильным элементом является углерод:  $T_C = 1,1 \cdot 10^{11}$ . Наименее технофильны: Y, Ga, Cs, Th, например, у иттрия —  $1 \cdot 10^3$ .

Вывод: технофильность химических элементов колеблется в очень широких пределах, размах колебаний измеряется в миллионах, в то время как контрасты кларков — в миллиардах — это второе коренное отличие ноосферы от биосферы: *техногенез ведёт к уменьшению геохимической контрастности ноосферы.*

Есть и другие показатели техногенеза. Так, М. А. Глазовская предложила определять *деструкционную активность элемента (Д)*:  $D = T/B$ , где  $T$  — технофильность;  $B$  — биофильность (кларк концентрации элемента в ЖВ);  $D$  — характеризует степень опасности элемента для живых организмов. Например,  $D_{Hg} = n \cdot 10^4 - n \cdot 10^5$ ;  $D_{Cd, F} = n \cdot 10^3$ ;  $D_{Sb, As, U, Pb} = n \cdot 10^2$ ;  $D_{Se, Be, B, Sn} = n \cdot 10$ ; для прочих  $< 1$ .

Количество элемента, выводимое ежегодно из техногенного потока в природный, Н. Ф. Глазовский назвал *техногенным геохимическим давлением*, а отношение этого показателя к единице площади — *модулем техногенного геохимического давления*. Модуль техногенного геохимического давления измеряется в т/км<sup>2</sup>. Например, модуль техногенного давления фосфора на Дальнем Востоке составляет  $7,6 \cdot 10^{-3}$  т/км<sup>2</sup>, а в Молдавии —  $8,2 \cdot 10^{-1}$  т/км<sup>2</sup>. Наиболее велики модули техногенного давления у Na, Cl, Ca, Fe: находятся в пределах 0,5–1,0. Наименьшие модули техногенного давления у Li, Ag, W, Au, Hg, Tl: около  $10^{-5}$ – $10^{-7}$  т/км<sup>2</sup>.

Техногенная миграция подчиняется социально-экономическим законам, здесь действует другой тип информации — социальный — *это третье коренное отличие ноосферы от биосферы.* В отличие от информации, характерной для биосферы, она значительно разнообразней. Рост социальной информации сопровождается уменьшением информации, характерной для биосферы.

Для ноосферы в целом характерно следующее:

1. Ноосфера образовалась и развивается в биосфере, другими словами, ноосфера — это биосфера, преобразующаяся под воздействием человека, изменяющего геохимию планеты и её ландшафты.

2. Основная преобразующая геохимическая сила в ноосфере — человек. Деятельностью человечества создан новый тип миграции химических элементов — техногенный. Этот тип миграции обуславливает перераспределение и рассеивание химических элементов, образование техногенных аномалий.

3. Ноосфера характеризуется значительным ускорением миграции.

4. Ноосфера характеризуется уменьшением геохимической контрастности.

5. Ноосфера отличается от биосферы большим объёмом и разнообразием информации.

6. Ноосфера использует и расходует энергию, накопленную биосферой.

7. Ноосфера создаёт новые типы ландшафтов — культурный, техногенный и агроландшафт, для которых возможно регулирование круговорота химических элементов. *Оптимизация круговорота элементов* — неперенное, обязательное условие развитие ноосферы.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что не характерно для ноосферы?
2. Какую концентрацию можно считать пределом рассеяния?

## ТЕМА 3

# ЭКОЛОГИЯ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Общие законы биоэкологии в полной мере справедливы и для человека как биологического вида, поэтому в рамках экологии животных возник раздел экологии человека, который впоследствии превратился в важный раздел современной экологии. Термин «*экология человека*» был введён в 1921 г. американскими учёными Р. Парком и Э. Бюргессом. В настоящее время **экология человека** — это комплексная научная дисциплина, связанная с изучением природных, экономических, социальных, личностных закономерностей взаимоотношений человека и окружающей его среды и направленная на разработку стратегии и комплекса мер по обеспечению экологической безопасности человека и его разнообразных потребностей (культурные, личностные, духовно-нравственные и др.). В связи с этим в экологии человека выделяются экология человеческой личности и экология человеческих популяций, в том числе и экология этносов.

*Этнос* (по Н. Ф. Реймерсу) — это исторически сложившаяся, целостная и устойчивая общность людей, характеризующаяся определёнными особенностями физического и психического склада, культурно-исторического развития и отношений с природной средой.

**Здоровье** человека как биосоциального вида является не только биологической категорией, а есть важнейший показатель общественного прогресса. Здоровье необходимо рассматривать как общественное богатство не только в социальном, но и в экологическом смысле. Согласно определению Всемирной организации здравоохранения, **здоровье человека** — это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов, как это до сих пор достаточно широко распространено в общественном сознании.

В социально-экономическом аспекте здоровье характеризуется критериями физического и интеллектуального потенциала общества для создания материальных и духовных ценностей.

Состояние человека характеризуется большим количеством показателей, основными из которых являются:

1) *заболеваемость* — уровень и частота распространения болезней среди населения. По определению ВОЗ, заболевание — это любое субъективное или объективное отклонение от нормального физиологического состояния организма;



---

2) *смертность* — массовый процесс прекращения индивидуальных жизней, протекающий в населении и формирующий его естественное движение, воспроизводство; убыль населения вследствие смерти. Характеризуется показателем смертности, равным числу смертей на 1 тыс. населения за 1 год;

3) *средняя продолжительность жизни* — возраст, до которого в среднем доживает население страны — мужчины и женщины. На этот показатель влияет множество факторов: уровень развития медицины и жизни в целом, а также детской смертности, условия работы, величина заработков, эпидемическая ситуация и т. д. За последние 96 лет средняя продолжительность жизни в России увеличилась на 30 лет — в 1,7 раза: с 43 в 1926–1930 гг. до 72 в 2021 г. В 1897 г. женщины жили в среднем 31,7 года, а мужчины — 29,4 года. Исторический максимум средней продолжительности жизни в России достигнут в 2019 г. — 73,34 года. После, за время пандемии, произошло снижение. В 2022 г. ситуация начала выравниваться: средняя длительность жизни снова пошла вверх. По данным на март 2022 г., средняя длительность жизни в мире составляла 71 год: женщин — 73,8, мужчин — 68,4;

4) *физическое и умственное развитие*. Умственное развитие характеризуется совокупностью знаний, умений и набором умственных действий, которые сформировались в процессе приобретения этих знаний — таково принятое в классической общей психологии понимание умственного развития. Физическое развитие — процесс изменения форм и функций организма человека под влиянием условий жизни и воспитания;

5) *инвалидность* — это состояние, при котором человек вследствие своего физического или психического состояния утрачивает способность выполнять обычные функции. Инвалидность является результатом взаимодействия между определёнными состояниями здоровья (деменция, слепота, травма спинного мозга и т. д.) и рядом факторов среды и индивидуальных факторов. В настоящее время, согласно оценкам, значительными ограничениями возможностей здоровья страдают 1,3 млрд человек, или 16 % мирового населения. Повышение распространённости неинфекционных заболеваний и старение населения ведут к увеличению их численности. Люди с инвалидностью представляют собой разнообразную группу населения, на жизненный опыт и медико-санитарные потребности которых влияют такие факторы, как пол, возраст, гендерная идентичность, сексуальная ориентация, религиозная,

расовая и этническая принадлежность, а также экономическое положение.

Согласно оценкам, 1,3 млрд человек, или каждый шестой человек в мире, страдает существенными ограничениями возможностей здоровья. Некоторые люди с инвалидностью умирают раньше людей, не имеющих ограничений по здоровью, и этот разрыв в продолжительности жизни может составлять до 20 лет. Людям с инвалидностью угрожает вдвое больший риск развития таких патологий, как депрессия, астма, диабет, инсульт, ожирение и стоматологические заболевания. Люди с инвалидностью почти в шесть раз чаще не могут пользоваться услугами медицинских учреждений по причине отсутствия доступной среды. Люди с инвалидностью в 15 раз чаще сталкиваются с недоступностью и дороговизной перемещения на транспорте по сравнению с не имеющими инвалидности людьми. Неравноправные условия, в которых оказываются люди с инвалидностью, в том числе стигматизация, дискриминация, бедность, невозможность получить образование и устроиться на работу, а также ограничения, порождаемые самой системой здравоохранения, ведут к неравенству возможностей для охраны здоровья людей с инвалидностью;

6) *психологическая комфортность* — состояние, возникающее в процессе жизнедеятельности, которое указывает на состояние радости, удовольствия, удовлетворения; это условия жизни, при которых любой человек чувствует себя спокойно, ему нет необходимости от кого-либо защищаться;

7) *степень социального благополучия* — интегральный показатель эффективности функционирования социальной сферы, отражение социального самочувствия, уровня благосостояния, качества жизни населения, индикатор социальной безопасности общественной системы в целом.

На протяжении человеческой истории перечисленные показатели претерпели существенные количественные изменения, особенно в прошедшем столетии.

Здоровье человека в значительной степени определяется качеством жизни. В настоящее время нет общепринятого критерия качества жизни. Наиболее общую характеристику этого понятия дали шведские учёные Л. Леви и Л. Андерсон в докладе, подготовленном ко Всемирной конференции ООН по народонаселению (1974), изданном в России отдельной книгой (Л. Леви, Л. Андерсон. Народонаселение, окружающая среда и качество жизни. — М. : Экономика,

---

1979). *Качество жизни* рассматривается как совокупность условий физического, умственного и социального благополучия с точки зрения отдельных индивидуумов и социальной группы, включая понимание таких состояний, как счастье, удовлетворение потребностей и удовольствие.

Граждане России имеют право на благоприятную *среду обитания* (окружающую природную среду, условия труда, проживания, быта, отдыха, воспитания и обучения, питания), факторы которой не должны оказывать опасного и вредного влияния на организм человека настоящего и будущих поколений. Важную роль в воздействии на здоровье человека играют социально-экономические факторы среды. В целом тенденции изменения здоровья населения достаточно точно отражают уровень экономического развития и благосостояния страны. Многие проблемы здоровья имеют глубокие социально-экономические корни, включая региональные аспекты условий и уклада жизни различных народов, тот или иной путь социально-экономического развития, затрагивающий интересы различных слоёв общества.

**Заболееваемость населения** — показатель, статистически определяемый за некоторый период времени как количество впервые заболевших людей, приходящееся на 100 тыс. человек населения. Статистика заболеваемости населения ведётся как по отдельным видам болезней, так и по их группам (сердечно-сосудистые, онкологические, инфекционные и др.). Заболеваемость — это объективное массовое явление возникновения и распространения патологии (от лат. — отклонение от нормы) среди населения, являющееся результатом воздействия генетических и экологических факторов и образа жизни. Все заболевания могут быть разделены на три вида:

- 1) являющиеся основными причинами смертности;
- 2) приводящие к различным жизненным ограничениям, включая инвалидность;
- 3) вызывающие кратковременные расстройства здоровья, которые вследствие массовости наносят значительный экономический ущерб обществу.

Экологическую опасность представляют инфекционные заболевания, так как они являются причиной распространения эпидемий, воспринимаемых людьми как чрезвычайные ситуации и наносящих ежегодно большой экономический ущерб обществу. Обычно рассматривают четыре группы инфекционных заболеваний:

1) инфекции дыхательных путей (туберкулёз, дифтерия, грипп и др.);

2) инфекции кишечной группы (дизентерия, холера, вирусный гепатит и др.);

3) инфекции кровяной группы (сыпной тиф, клещевой энцефалит, чума, малярия и др.);

4) инфекции наружных покровов (сибирская язва, столбняк и др.).

Многие из этих заболеваний, вызываются проникновением в организм болезнетворных микроорганизмов и связаны с биологическим загрязнением окружающей среды, которое определяется её санитарно-эпидемиологическим состоянием. В настоящее время санитарно-эпидемиологическая обстановка в нашей стране вследствие роста уровня загрязнений окружающей среды оценивается как неблагоприятная и её негативное влияние на здоровье населения становится всё более заметным.

*Факторы риска и профилактика заболеваний.* В факторам риска в медицинском аспекте относят наследственные и генетические нарушения в организме, различные виды загрязнения окружающей среды, а также такие распространённые «привычки», ставшие составными показателями образа жизни, как курение, наркотики, злоупотребление алкоголем, некачественное питание, недостаточная физическая нагрузка (гипокинезия) и др. Факторами риска называют те факторы внешней (окружающей) и внутренней среды организма, а также и поведенческие факторы, которые способствуют увеличению вероятности развития заболеваний, их прогрессивному и неблагоприятному исходу.

К значительному росту заболеваемости населения приводит неблагоприятная социально-экономическая ситуация (экономический кризис) и нарушенная окружающая среда, что делает необходимым достижение согласия законодательных и исполнительных органов власти разных уровней для определения приоритетов и разработки современной стратегии укрепления здоровья. Как показывает опыт развитых стран, современная стратегия должна быть ориентирована на профилактику заболеваний, которая понимается как комплекс мероприятий по уменьшению вероятности возникновения заболеваний (первичная профилактика) и по уменьшению вероятности прогрессирования заболеваний, их осложнений и неблагоприятных исходов (вторичная профилактика).

*Средняя продолжительность жизни человека. Смертность* — наиболее объективный и важный показатель состояния здоровья

---

из имеющихся в официальной статистике показателей. Смертность определяется согласно евростандарту как количество смертей за год на 100 000 человек. Средняя продолжительность жизни человека — это средний достижимый возраст, определяемый как частное от деления суммы возрастов умерших на общее их число жителей. Известно, что продолжительность жизни наших предков была невысокой. В неолите она составляла приблизительно 18 лет, во времена Римской империи — 25, в средние века (Англия) — около 30 лет. Затем благодаря достижениям медицины и науки удалось уменьшить смертность, в результате чего к началу XX в. в некоторых странах средняя продолжительность жизни (СПЖ) достигла 50 лет (по данным США, 1900 г.), а к середине века — 73 лет (Нидерланды, 1955 г.). К концу века из трёх десятков развитых стран мира по этому показателю лидировали Япония и Швейцария (77,6 года), Исландия (77,4 года), Швеция (77,1 года), Испания (76,6 года). В СССР в 1990 г. СПЖ составила 69,3 года, в том числе для мужчин и женщин — соответственно 64 и 74 года.

Многолетние наблюдения показывают, что продолжительность жизни в экологически чистых районах превышает показатель в городах и вблизи промышленных предприятий. Исходя из этого можно понять, насколько взаимосвязаны экология и человек.

Влияние качества окружающей природной среды на здоровье человека имеет определённое значение: проживание в крупных промышленных городах, соседство с фабриками и заводами со временем сказываются на состоянии любого организма. Особенно чувствительными к среде обитания являются дети. Здоровье человека прежде всего зависит от качества воздуха и воды: бронхиты, астма, аллергии.

Не меньшую опасность представляет употребление загрязнённой воды. Последствия употребления загрязнённой воды для человека — это различные кишечные и инфекционные заболевания — холера, тиф, гепатит, дизентерия, гастроэнтерит. Кроме того, загрязнение воды приводит к ухудшению состояния кожи, отрицательно сказывается на состоянии волос, приводит к порче зубов.

Экология личности связана с гигиеной человека. Различные микроорганизмы, вирусы, черви и бактерии могут находиться в воздухе, воде, мясе животных и вызывать различные заболевания. Особую опасность представляют открытые водоёмы, реки, озёра. Вдыхая воздух, содержащий болезнетворные микробы, есть риск заразиться воздушно-капельными инфекциями, такими как дифтерия, грипп, свинка, бронхит и т. д.

Справиться с неблагоприятной экологической средой помогает хороший иммунитет, следовательно, очень важно соблюдать общие нормы гигиены, заниматься спортом и физической культурой, что способствует усилению защитных функций организма.

Экология в отношении человечества является междисциплинарной наукой, которая изучает взаимодействие людей с окружающим миром, динамическими условиями существования в нём и экологическое разнообразие современного человека. *Адаптивный тип* — это норма реакции, независимо возникающая в сходных условиях среды обитания в популяциях, которые могут быть не связаны между собой генетически. Главным образом изучается характер процессов, возникающих в результате воздействия среды обитания на человечество.

Одна из основных задач этой науки — помогать обществу оптимизировать условия окружающей среды путём донесения необходимой информации до законодательных органов и руководителей разных уровней. В исследованиях учитывается множество параметров:

- результаты социологических опросов населения;
- данные медицинской и демографической статистики;
- результаты наблюдений за изменением среды обитания;
- результаты обработки экономических и статистических дан-

ных.

Также используются показатели, характеризующие человеческое общество:

- уровень рождаемости, смертности, заболеваемости, инвалидности населения;
- возрастная и половая структура;
- уровень физического развития населения и т. д.

Экология по отношению к человеку как наука играет важную роль — она способствует формированию уровня ответственности за решения, структурирует и доносит до властей информацию о возможных последствиях деятельности производств и стимулирует постоянную работу по модернизации технологий, защищающих среду обитания.

Прогресс не только упрощает жизнь человека, но и ставит перед ним новые, достаточно важные задачи. Если не уделять должного влияния глобальным экологическим проблемам, то в будущем они могут стать причиной исчезновения нашего вида, что подтверждает взаимосвязь качества окружающей среды и здоровья человека.

К основным экологическим проблемам можно отнести:

- 
- глобальное потепление;
  - общее загрязнение воздушного слоя планеты;
  - разрушение озонового слоя;
  - загрязнение Мирового океана;
  - истощение запасов пресной воды;
  - эрозию и загрязнение почвенного покрова;
  - сокращение разнообразия биологических видов;
  - истощение природных ресурсов и полезных ископаемых.

Современные экологи, отмечая важную роль экологии в жизни человека, предлагают достаточно много путей решения мировых экологических проблем. В большинстве своём они сводятся к сокращению уровня выбросов, утилизации промышленных отходов, переходу на альтернативные источники энергии.

Человечество имеет потребность в поддержании безопасной окружающей среды, поэтому можно предположить такие направления в разрешении экологических проблем, как:

- *законодательное.* Разработка и принятие международных законов о защите среды человека;
- *экономическое.* Для борьбы с последствиями техногенного воздействия на природу требуются большие финансовые вливания;
- *технологическое.* Разработка новых и улучшение имеющихся технологий, работающих на защиту среды от влияния человека;
- *эстетическое.* Озеленение городов, обустройство природоохранных зон и заповедников, создание лесополосы вокруг предприятий и дорог.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте понятие «здоровье».
2. Какие факторы окружающей среды влияют на состояние здоровья?
3. Основные направления деятельности для поддержания безопасной окружающей среды.

## ТЕМА 4

# ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

1. Природные ресурсы, их классификация.
2. Изменение климата (парниковый эффект).
3. Диоксины.
4. Кислотные дожди.
5. Смог.
6. Трансграничное загрязнение воздуха.
7. Антропогенное воздействие на гидросферу.
8. Сокращение биологического разнообразия.
9. Деградация почв.
10. Возможность исчерпания запасов минерально-сырьевых ресурсы. Динамика потребления минерального сырья.
11. Принципы охраны окружающей среды и рационального природопользования.
12. Урбанизация и её влияние на биосферу.
13. Сохранение генофонда населения и планеты.

## 1. Природные ресурсы, их классификация

Со второй половины XIX в. и по настоящее время отмечается постоянное ускорение роста численности населения Земли, промышленного и сельскохозяйственного производства. Технические и технологические возможности человека растут в геометрической прогрессии. Также ускоренно возрастает использование им различных видов природных ресурсов, и соответственно наблюдается рост образования побочных продуктов (отходов) производственной и хозяйственно-бытовой деятельности, которые в виде твёрдых, жидких и газообразных веществ поступают окружающую среду. При этом наряду с встречающимися в природных условиях химическими эле-



ментами и соединениями, в окружающую среду поступают несвойственные естественной природе вещества техногенного происхождения, то есть созданные человеком в процессе производственной деятельности.

Интенсификация антропогенного (техногенного) воздействия на окружающую среду приводит к изменениям (чаще всего негативным) состояния окружающей среды. Наряду с локальными нарушениями состояния природных условий, начиная со второй половины XX в. всё более отчётливо проявляются изменения, охватывающие большие регионы или проявляющиеся на всей территории планеты.

К числу глобальных экологических проблем, признаваемых большинством исследователей, относятся: изменение климата, разрушение озонового слоя Земли, выпадение кислотных дождей, трансграничное загрязнение воздуха, сокращение биологического разнообразия, деградация земель, исчерпание запасов минерально-сырьевых ресурсов.

## 2. Изменение климата (парниковый эффект)

Со второй половины XIX в. наблюдается постепенное повышение среднегодовой температуры приземных слоёв атмосферы и поверхностных слоёв гидросферы, особенно усилившееся во второй половине XX в. Так, в 1988 г. среднегодовая температура оказалась на 0,4 °C выше, чем в 1950–1980 гг. Большинство климатологов такое повышение связывают с накоплением в атмосфере так называемых «парниковых газов» — диоксида углерода, метана, фреонов, озона, оксида азота и др. Начав расти во время промышленной революции в 1850-х гг. и постепенно ускоряясь, потребление человечеством топлива привело к тому, что концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере возросла примерно с 280 ppm до 380 ppm. При таком росте спроецированная на конец XIX в. концентрация будет составлять более 560 ppm (ppm — частицы CO<sub>2</sub> на миллион молекул атмосферных газов). Известно, что сейчас уровень CO<sub>2</sub> в атмосфере выше, чем когда-либо за последние 750 000 лет. Вместе с увеличивающейся концентрацией метана эти изменения предвещают рост температуры на 1,4–5,6 °C в промежутке между 1990 и 2040 гг.). «Парниковые газы», и в первую очередь CO<sub>2</sub>, препятствуют длинноволновому тепловому излучению

с поверхности Земли, и атмосфера, насыщенная ими, действует как крыша теплицы. Она, пропуская внутрь большую часть солнечного излучения, почти не пропускает наружу тепло, переизлучаемое Землёй. В связи с сжиганием человеком большого количества ископаемого топлива (ежегодно более 9 млрд т условного топлива) концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере постоянно увеличивается. За счёт выбросов в атмосферу при промышленном и сельскохозяйственном производстве и в быту растёт содержание фреонов, метана, в меньшей степени оксида азота.

К негативным последствиям относится повышение уровня Мирового океана вследствие таяния полярных льдов и горных ледников. При повышении уровня Мирового океана хотя бы на 2 м произойдёт затопление приморских равнин более чем в 30 странах, заболачивание обширных территорий, изменение режима рек и др. Таяние многолетнемёрзлых пород вызовет активизацию эрозионных процессов и деградацию поверхности обширных территорий, разрушение в северных странах жилых зданий и объектов инфраструктуры. Усиление процессов опустынивания, увеличение площади территорий с засушливым (аридным) климатом вызовет ухудшение условий для сельскохозяйственного производства. Изменение температурного режима водных объектов приведёт к существенным изменениям в составе водной биоты. Возрастает необходимость перестройки термо- и энергорегулирующих систем во многих регионах.

К положительным последствиям относится увеличение интенсивности фотосинтеза вследствие повышения концентрации  $\text{CO}_2$  и возрастание влажности, что может привести к увеличению продуктивности как природных фитоценозов, так и агроценозов.

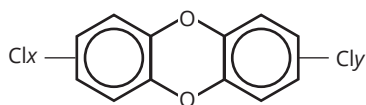
*Сокращение антропогенных выбросов парниковых газов и в первую очередь диоксида углерода предприятиями энергетики.* На Международных конференциях в Торонто (Канада, 1979 г.) и Киото (Япония, 1997 г.) была поставлена задача сократить к 2005 г. промышленные выбросы  $\text{CO}_2$  на 20 % (Киотский протокол). Ряд учёных не считают промышленные выбросы парниковых газов главной причиной климатических изменений, а видят их в общей деградации биосферы вследствие усиливающегося антропогенного воздействия. Следовательно, в первую очередь необходимо заботиться о сохранении биосферы как основного фактора глобальной экологической безопасности.

*Разрушение «озонового слоя».* Под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца молекулярный кислород ( $\text{O}_2$ ) диссоциирует

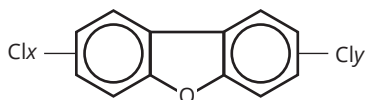
на атомы, которые затем соединяются с другими молекулами  $O_2$ , образуя озон ( $O_3$ ). Наибольшая плотность озона встречается на высоте около 20–25 км. Относительно высокая концентрация озона (около  $8 \text{ мл/м}^3$ ) поглощает опасные ультрафиолетовые лучи и защищает всё живущее на суше от губительного излучения. Это явление позволило выделить так называемый озоновый слой. Если бы можно было извлечь весь озон, находящийся в атмосфере, и сжать под нормальным давлением, то в результате вышел бы слой, покрывающий поверхность Земли толщиной всего 3 мм. Для сравнения, вся сжатая под нормальным давлением атмосфера составляла бы слой в 8 км. В 1985 г. над Антарктидой обнаружено огромное пространство с пониженным (до 50 %) содержанием озона, получившее название «озоновой дыры». С тех пор результаты измерений подтверждают появление «озоновых дыр» практически во всех регионах нашей планеты. Правда они, как правило, не существуют постоянно, могут уменьшаться в размерах или исчезать совсем, появляться в других местах. Истощение озонового слоя признано серьёзной угрозой глобальной экологической безопасности. В районах с пониженным содержанием озона многочисленны солнечные ожоги, увеличивается количество заболеваний раком кожи и др. Растения под влиянием сильного ультрафиолетового излучения постепенно теряют свою способность к фотосинтезу. Предполагается как естественное, так и антропогенное происхождение «озоновых дыр». Многие учёные считают, что их возникновение связано с повышенным содержанием фреонов, которые широко применяются в промышленном производстве и быту (хладоагрегаты, растворители, распылители, аэрозольные упаковки и др.). В атмосфере фреоны разлагаются с выделением оксида хлора, губительно действующим на молекулы озона. В связи с этим международными договорами и российским законодательством предусмотрено принятие мер по снижению и постепенному отказу от производства и использования фреонов. Ряд учёных продолжают настаивать на природном происхождении «озоновых дыр». Причины их возникновения они видят в естественной изменчивости озоносферы, циклической активности Солнца, процессах рифтогенеза и дегазации Земли.

### 3. Диоксины

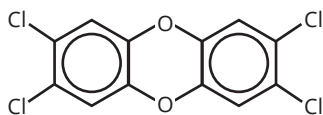
**Диоксинами** для краткости называют большую группу хлорорганических высокотоксичных экотоксикантов — полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД, I) и дибензофуранов (ПХДФ, II) — соответственно диоксины и фураны. Следует иметь в виду, что диоксины и фураны могут иметь в своём составе чётное (обычно 4, 6 и 8) или нечётное (как правило, 5 или 7) число атомов хлора. Для обозначения положения атомов хлора в бензольных кольцах диоксинов и фуранов используют цифры в соответствии с правилами «Женевской номенклатуры органических соединений». Ниже приведены некоторые изомеры тетра(III)-, пента(IV)-, гекса(V)-, гепта(VI)- и окта(VII)-хлорзамещённых соединений (такие изомеры называют также конгенерами):



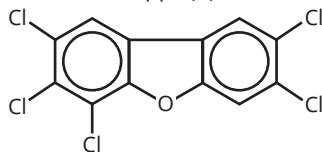
ПХДД (I)



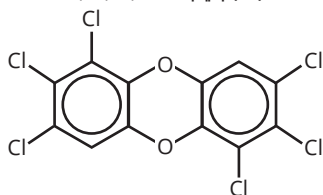
ПХДФ (II)



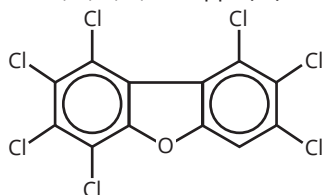
2, 3, 7, 8-ТХДД (III)



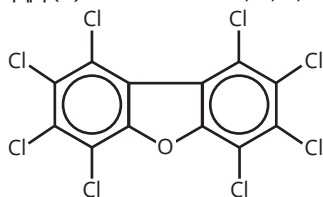
2, 3, 4, 7, 8-ПХДФ (IV)



1, 2, 3, 6, 7, 8-ГкХДД (V)



1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-ГпХДФ (VI)



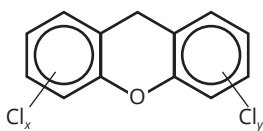
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-ОХДФ (VII)

Наряду с этими чисто полихлорированными изомерами, существуют также чистые полибромированные дибензо-*n*-диоксины и дибензофураны (ПБДД и ПБДФ), а также смешанные хлорированные и бромированные изомеры. Бромированные диоксины и фураны являются продуктами термических превращений бромсодержащих веществ, повышающих огнестойкость материалов, и применяются в пластмассах и других горючих материалах. Из-за наличия смешанных галогенированных соединений число замещённых изомеров на основе диоксинов и фуранов превышает тысячу.

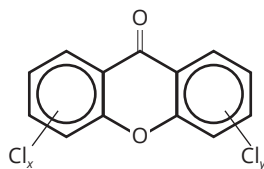
## История исследования диоксинов

История исследования диоксинов началась с 1930-х гг., когда фирмой «Дау Кемикал» (США) было начато производство и использование в качестве консервантов для древесины дауцидов — полихлорфенолов, а затем производство и применение гербицидов на основе 2,4-дихлор- и 2,4,5-трихлорфеноксиуксусных кислот (2,4-Д и 2,4,5-Т). У рабочих предприятий и населения стали отмечаться тяжёлые поражения кожи — хлоракне. Причина поражения рабочих, занятых в производстве 2,4,5-трихлорфенола, была установлена в 1957 г. тремя группами учёных: Н. Т. Hoffman (ФРГ); К. Н. Schulz (ФРГ); N. Gilman, J. J. Deetrich (США).

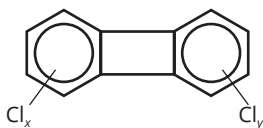
Биологической активностью, характерной для диоксинов общей формулы (1), обладают многие галогенорганические вещества. В их числе некоторые полихлор-, полибром- и полибромхлорсодержащие трициклические соединения, например ксантены (1), ксантоны (2), бифенилены (3), бифенилы (4):



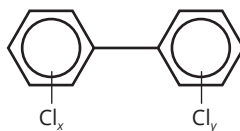
(1)



(2)



(3)



(4)

Десятки лет все данные, связанные с диоксиновой проблемой, были строго засекречены. С 1968 г. во многих странах мира полож секретности с диоксиновой проблемы был снят и поток информации принял лавинообразный характер. С каждым годом появляется всё больше информации о свойствах и действиях диоксинов на живые организмы, об их источниках и распространённости. С 1980 г. ежегодно проводятся международные научные конференции, посвящённые диоксиновой проблеме («Dioxin-80» — «Dioxin-90»). В ряде стран имеются специальные национальные программы, направленные на резкое уменьшение эмиссии диоксинов.

Пик выбросов диоксинов в окружающую среду во всём мире пришёлся на 1960–1970-е гг. Весомый вклад внесла война во Вьетнаме. В этой химической «гербицидной» войне США применили около 96 тыс. т гербицидов, из них 57 тыс. рецептов, содержащих диоксины в количестве до 50–100 ppm (долей на миллион), что привело к внесению в экосистему Индокитая более 500 кг диоксинов.

Коммерческое производство полихлорированных бифенилов (ПХБ) началось около 60 лет назад. Общее количество произведённых в мире ПХБ оценивается в 1,5 млн т. В разных странах ПХБ выпускались под различными промышленными названиями: арохлор (США), хлорфен (ФРГ), фенохлор (Франция), фенхлор (Италия), совол и совтол (СССР). Во многих странах (США, Япония, Швеция) в 1970-х гг. было ограничено применение и запрещено производство ПХБ. В 1985 г. принято общеевропейское постановление, запретившее с 1986 г. производство и применение ПХБ.

Впервые на опасность, связанную с производством и использованием ПХБ, учёные обратили внимание при изучении воздействия ДДТ на птиц, обитающих в районе Саргассова моря — в их организмах были обнаружены ПХБ.

Другим толчком к исследованию ПХБ послужили случаи массовых отравлений в 1969 г. в Японии и в 1974 г. на Тайване, вызванные употреблением в пищу рисового масла, загрязнённого ПХБ. Исследованиями японских учёных установлено, что в масле присутствовали также ПХДФ, ПХДД и полихлорированные терфенилы. В результате пострадало несколько тысяч человек. Поразившее их заболевание получило название Юшо-Ю Ченг.

Диоксины и родственные им соединения (кроме ПХБ) никогда не были целевой продукцией человеческой деятельности, а лишь сопутствовали ей в виде микропримесей ( $1 \cdot 10^{-12}$ – $1 \cdot 10^{-15}$  г). «Однако именно микропримеси диоксинов, характеризующиеся комплексом

необычных физико-химических свойств и уникальной биологической активностью, могут стать одним из источников опаснейшего долговременного заражения биосферы» (Л. А. Федоров, 1993).

## Физические, химические и биологические свойства диоксинов

Физические, химические и биологические свойства диоксинов определяются в основном их общей химической природой, в том числе количеством атомов галогена в молекуле, а также положением атомов галогена.

Такие ключевые характеристики ПХДД и ПХДФ, как растворимость в воде, коэффициент распределения в системе октанол/вода ( $P_{o/w}$ ), давление паров, закономерно изменяются с увеличением числа атомов галогена в молекуле. Некоторые физико-химические свойства диоксинов на примере 2, 3, 7, 8-ТХДД и ОХДД приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Физико-химические свойства 2, 3, 7, 8-ТХДД и ОХДД, относящиеся к их поведению в окружающей среде

Свойство	2, 3, 7, 8-ТХДД	ОХДД
Растворимость в воде, нг/л	7,9–200	0,4
Давление пара, Па (20 °С)	$9,6 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
(50 °С)	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
(100 °С)	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
$\log P_{o/w}$	6,2 6,8	11,8–12,3
Константа Генри, Па · м <sup>3</sup> /моль	0,2	0,2
Константа сорбции, $K_{oc}$	$4,7 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^7$
	$(1,1-8) \cdot 10^6$	
Константа переноса $K_y$ , вода—воздух, сут <sup>-1</sup>	$(2,8-9,3) \cdot 10^{-3}$	$(2,4-7,8) \cdot 10^{-3}$
$t_{1/2}$ для переноса вода—воздух, сут	75–250	90–300

Все производные дибензодиоксины и дибензофурана — кристаллические вещества, температура плавления — от 105 до 332 °С.

Диоксины — химически инертные соединения. Они чрезвычайно стабильны в сильноокислотных и щелочных растворах, а также высоко

устойчивы к окислителям в некаталитических условиях. Известна, однако, способность диоксинов к нуклеофильному замещению и гидролизу в сильнощелочных спиртовых растворах при нагревании (отметим, что гидролиз — основной путь метаболизма этих веществ в живых организмах). Диоксины хорошо растворимы в органических растворителях и маслах. Растворимость 2, 3, 7, 8-ТХДД (мг/л) составляет: 720 — в хлорбензоле, 570 — в бензоле, 370 — в хлороформе, 110 — в ацетоне, 50 — в октаноле и 10 — в метаноле. В то же время они практически нерастворимы в воде ( $\sim 2 \cdot 10^{-7}$  г/л). Однако в присутствии водорастворимых полимеров, например гуминовых кислот, их растворимость может повышаться за счёт комплексообразования.

Эти химические свойства определяют высокую стабильность в объектах окружающей среды: в почве период полураспада 2, 3, 7, 8-ПХДД превышает 10 лет (доходит до 20 лет), а в воде и донных отложениях он может достигать нескольких десятилетий.

Стабильность диоксинов по отношению к физическим воздействиям может существенно различаться. В истинных растворах ПХДД и ПХДФ и их броморганические аналоги сравнительно легко дехлорируются при УФ-облучении. Легче всего дехлорирование происходит в органических растворителях. Фотолитическое дехлорирование структурно ориентировано. В истинных растворах ПХДД, например, происходит последовательное превращение в ТХДД, причём в первую очередь отрываются атомы хлора в  $\beta$ -положении. Роль фотоллиза на поверхности в их распаде ничтожна. К тому же на поверхности почвы высокохлорированные ПХДД и ПХДФ с  $n=7-8$  фотолитически преобразуются не в менее, а напротив, более токсичный 2, 3, 7, 8-ТХДД.

Диоксины также термически высоко стабильны. Представления об условиях термического образования и распада диоксинов в последние годы претерпели эволюцию. Первоначально считалось, что необратимое термическое разложение хлорорганических диоксинов происходит при температурах около 750 °С. В дальнейшем, однако, было показано: даже при температурах до 1 200 °С их разложение — процесс обратимый. Только выдерживание в течение 4–7 с при температуре 1 200 °С и выше приводит к необратимой фрагментации диоксинов. В настоящее время установлено, что при температуре от 750 до 900 °С идёт в основном образование 2, 3, 7, 8-ТХДД, а эффективное разрушение происходит лишь в диапазоне 1 200–1 400 °С. Эти результаты позволили сформулировать требования к режимам работы мусоросжигательных печей.



Термическая устойчивость характерна также и для броморганических ПБДД и ПБДФ: при 800 °С более эффективно происходит их образование, а не разрушение.

Летучесть рассматриваемых ксенобиотиков обычно незначительна, но из-за эффективной сорбции на различных аэрозольных частицах их присутствие в воздухе при определённых условиях может значительно повышаться. Из этого следует, что наличие ксенобиотиков в воде и воздухе, а также их транспорт в этих средах определяется не столько их летучестью и растворимостью, сколько поведением их носителей — аэрозольных частиц в воздухе и молекулярных комплексов в воде и почве.

Среди других аналитически важных физико-химических характеристик диоксинов укажем две. Это, во-первых, высокая адгезионная способность по отношению к развитым поверхностям — частичкам почвы, золы, донных отложений. Это свойство зависит, однако, от наличия в матрице других органических веществ. Во-вторых, это высокие коэффициенты распределения в системе октанол—вода. В известной степени эти два свойства определяют особенности поведения диоксинов в окружающей среде и их накопление в живых организмах.

В природе диоксины испаряются с поверхности сравнительно медленно. В то же время они постепенно переходят в органическую фазу почвы или воды, мигрируют далее в виде комплексов с органическими веществами и включаются в пищевые цепи. Попадая в живые организмы, диоксины накапливаются в них и влияют на некоторые биохимические процессы.

Согласно Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, диоксиноподобные суперэтоксиканты отнесены к стойким органическим загрязнителям (СОЗ). Указанные вещества попадают под действие одного из Протоколов Конвенции — Протокола по стойким органическим загрязнителям, принятого на очередной Европейской конференции министров окружающей среды.

Для СОЗ характерны следующие свойства:

- устойчивость в окружающей среде;
- биоаккумуляция, накопление по пищевой цепи до уровней, в 70 тысяч раз превышающих уровни, обнаруживаемые в окружающей среде;
- токсичность для человека и других живых организмов; они вызывают в основном отдалённые эффекты, включая рак, а также

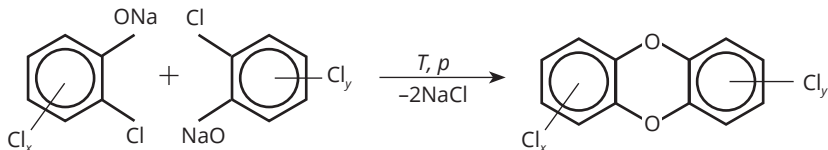
нарушения развития, репродуктивные и иммунологические расстройства, эндокринные нарушения;

– крупномасштабный перенос с обнаружением CO<sub>3</sub> в удалённых областях, вдали от каких-либо источников.

## Получение диоксинов

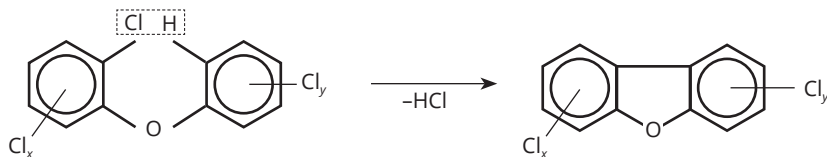
Синтез ПХДД и ПХДФ никогда ранее не проводился вплоть до того момента, когда понадобилось получить их аналитические стандарты.

Прежде всего ПХДД образуется из *o*-хлорфенолов и *o*-хлорфеноксипроизводных при реакции конденсации. Повышенная температура ( $t = 150\text{ }^\circ\text{C}$ ) и давление ( $> 10^5\text{ Па}$ ), а также щелочная среда способствуют реакции межмолекулярной конденсации в диоксины:



Например, известно, что при производстве ПХФ или 2,4,5-Т (2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты) в зависимости от условий реакции образуются октахлордibenzo-*n*-диоксин или 2,3,7,8-тетрахлордibenзодиоксин. Токсичное для человека действие 2,4,5-Т, проявившееся во время войны США во Вьетнаме, объясняется как раз загрязнением 2,3,7,8-ТХДД.

Наряду с межмолекулярными реакциями конденсации, к появлению ПХДД и ПХДФ могут привести также внутримолекулярные реакции циклизации с образованием так называемых преддиоксинов и преддibenзофуранов. Так, например, из полихлордифенилового эфира относительно легко образуется ПХДФ:



Образование полибромированных дibenzo-*n*-диоксинов и фуранов (ПБДД/Ф) также связано с образованием преддиоксиновых структур в бромированных антивоспламенительных средствах, так как в случае пожара бромидные радикалы легко отщепляются

и останавливают радикальную цепную реакцию горения, однако одновременно идёт рекомбинация органических радикалов с образованием вредных веществ (до нескольких процентов). Это показано на рис. 4.1 на примере декабромидифенилового эфира.

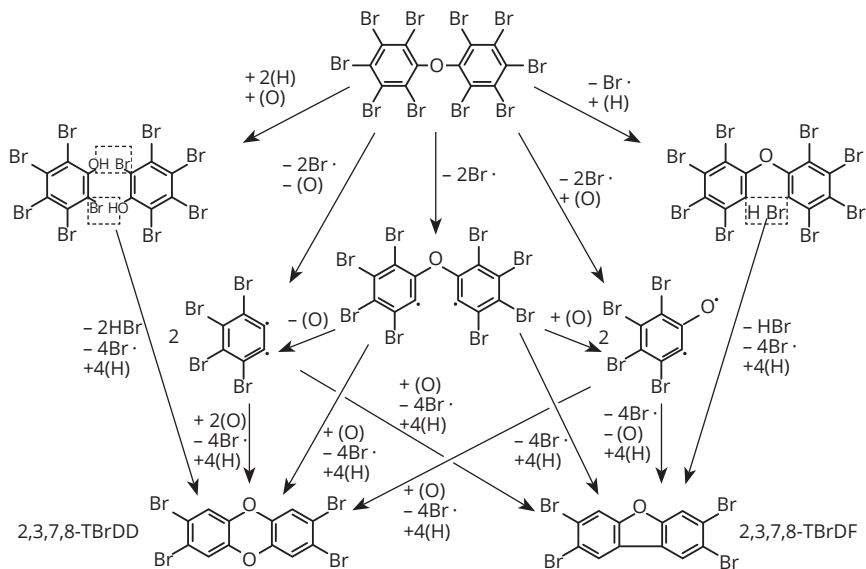


Рис. 4.1. Образование полибромированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов из декабромидифенилового эфира (M. Bahadir et al., 1989)

## Источники образования диоксинов

Основными источниками образования ПХДД, ПХДФ и ПХБ могут быть:

- предприятия химической, электротехнической, лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, цветной металлургии;

- производство тепла и энергии на ТЭЦ и котельных в городах и населённых пунктах, где в качестве источников тепла и энергии используются уголь, мазут, дизельное или бензиновое топливо, обработанная пентахлорфенолом или другими хлорорганическими пестицидами древесина;

- транспорт;

- сжигание мусора;
- использование в сельском и лесном хозяйстве хлорорганических пестицидов;
- лесные пожары в зонах сильного влияния аэропромвыбросов диоксиноопасных предприятий (первая и вторая группы) и после обработок хлорорганическими пестицидами.

*Химическая промышленность* — основной поставщик диоксинов и фуранов в окружающую среду.

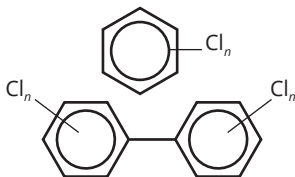
Исключительно высокая устойчивость диоксинов способствует образованию их как малых примесей практически в любом хлорорганическом производстве. Один же из представителей группы диоксинов — ПХБ — является целевым продуктом благодаря своим ценным для электротехнической промышленности свойствам. Этим и определяется тот факт, что во многих пробах наибольший вклад в суммарную токсичность привносит ПХБ.

Шведский химик К. Раппе с сотрудниками, пытаясь понять, как эти соединения попадают в воду, провели интересный эксперимент: пропустили через очищенную воду газообразный хлор из баллона, после чего обнаружили в ней токсиканты. Полагая, что они содержатся в самом газе, исследователи изучили состав хлора, получаемого на химических предприятиях электролизом раствора хлорида натрия.

Оказалось, что в газе, продаваемом в баллонах потребителям, концентрация диоксинов и фуранов достигает 650 нг/г. По мнению Раппе и его коллег, полихлорированные загрязнители образуются в качестве примесей при взаимодействии хлора с углеродом электродов и кислородом воздуха. Однако в процессе проведённых исследований обнаружено, что при замене графитовых электродов на титановые диоксины и фураны по-прежнему присутствуют в хлоре. Так что причина их появления в этом газе осталась невыясненной, и, чтобы найти её, нужны новые исследования.

Источники диоксинов и фуранов — предприятия химической промышленности, которые производят хлорорганические пестициды (2, 4, 5-Т и др.). Но кроме них есть и другие хлорорганические продукты, в технологических процессах получения которых образуются диоксины и фураны. Упомянем лишь три главных, хотя каждому классу хлорорганических продуктов, получение и использование которых представляет собой реальную угрозу здоровью среды и населения, следовало бы посвятить отдельные статьи (и даже книги).

Первый такой технологический процесс — производство хлорбензолов и ПХБ, широко используемых в качестве жидких диэлектриков, смазочных веществ, высокотемпературных теплоносителей и гидравлических жидкостей:



( $n$  — количество атомов хлора: в хлорбензолах их может быть от одного до шести, в бифенилах — до пяти).

Второй — производство растворителей ряда хлорзамещённых алканов, в частности, дихлорэтана ( $\text{ClCH}_2\text{—CH}_2\text{Cl}$ ), трихлорэтана ( $\text{Cl}_3\text{C—CH}_3$ ) и этиленхлоргидрина ( $\text{ClCH}_2\text{—CH}_2\text{OH}$ ).

Третий — производство хлорзамещённых полимеров и прежде всего — поливинилхлорида ( $\text{—ClCH—CH}_2\text{—}$ ) $_n$ .

В целом же многие высокотемпературные химические процессы, в которых участвуют органические и неорганические соединения с одним или несколькими атомами хлора (включая молекулярный хлор), могут давать в качестве побочных продуктов диоксины и фураны.

Целлюлозно-бумажная промышленность по степени загрязнения окружающей среды диоксинами и фуранами стоит на втором месте после химического производства. Чтобы получить целлюлозу из древесины, из неё нужно удалить лигнин (его в древесине около 25 %), а он содержит фенольные фрагменты, взаимодействие которых с хлорсодержащими реагентами приводит к образованию диоксинов и фуранов (или, по крайней мере, их предшественников). Получение столь ценимой потребителями белой бумаги требует отбеливания целлюлозы. Для этого традиционно используют либо сам хлор, либо его производные (оксид хлора, хлораты и гипохлориты), и в результате могут образоваться всё те же полихлорированные токсиканты, в основном соединения группы II (дибензофураны).

Автомобильный транспорт — относительно новый для нас источник, поставляющий диоксины и фураны. Они выбрасываются с выхлопными газами автомобилей, работающих на топливе с добавками тетраэтилсвинца и 1,2-дихлорэтана (первый используется для повышения антидетонационных свойств топлива, второй — чтобы уменьшить отложения свинца внутри двигателя).

Так, например, автомобили, работающие на топливе с добавками тетраэтилсвинца и 1,2-дихлорэтана на каждый километр пути выбрасывают в атмосферу около 12 пкг 2, 3, 7, 8-ТХДД, то есть примерно 500 пкг эквивалента токсичности (ЭТ) на 1 км. При этом в выхлопных газах, кроме 2, 3, 7, 8-ТХДД, содержатся в значительных количествах некоторые конгенеры ГкХДД, а также ОХДД и ОХДФ.

*Мусоросжигательные заводы (МСЗ)* — основные источники диоксинов и фуранов в западных странах, где бытовые и промышленные отходы считалось проще сжечь, чем захоронить. Выделяющееся тепло, как правило, используется для получения энергии. Сколько бы мусора ни сжигалось, везде возникает одна и та же проблема — загрязнение окружающей среды токсикантами, более опасными, чем те, которые содержатся в самих отходах.

## 4. Кислотные дожди

*Кислотный (кислый) дождь* — дождь (снег, туман, роса), подкислённый ( $\text{pH} < 5,6$ ) из-за растворения в атмосферной влаге промышленных выбросов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$  и др.).

Термин «кислотные дожди» появился в 1872 г. Его ввёл в практику английский инженер Р. Смит, опубликовавший книгу «Воздух и дождь: начало химической климатологии». Детально научными исследованиями кислотных дождей стали заниматься только в конце 1960-х гг. Впервые проблема кислотных дождей стала предметом обсуждения на XXVIII Генеральной ассамблее Международного союза по теоретической и прикладной химии (ИЮПАК), проходившей в Мадриде в сентябре 1975 г.

*Главные кислотообразующие выбросы в атмосферу* — диоксид серы  $\text{SO}_2$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$  (монооксид азота  $\text{NO}$ , диоксид азота  $\text{NO}_2$  и др.) и летучие органические соединения (ЛОС), которые образуются из антропогенных и природных источников.

Кратко рассмотрим *природные и антропогенные источники образования ЛОС*.

В состав ЛОС входят реакционноспособные алканы — 50 % (пропан, н-бутан и более высокомолекулярные), олефины — 23 % (этилен, пропилен и др.), ароматические углеводороды — 18 % (бензол, ксилол и др.), альдегиды и кетоны — 8 % (формальдегид, ацетон и др.), органические кислоты — 1 % (муравьиная, уксусная и др.).

ЛОС, в отличие от оксидов серы и азота, поступают в атмосферу главным образом из природных источников (65 % от общего количества). Основной природный источник этих веществ — растения, в результате жизнедеятельности которых образуются непредельные соединения — терпеновые углеводороды и производные изопрена. Они активно участвуют в химических реакциях, протекающих в атмосфере, способны взаимодействовать с озоном и гидроксильными радикалами, инициируют химические реакции, в результате которых образуется целый ряд продуктов. Количество ЛОС возрастает при повышении температуры и интенсивности солнечного освещения, то есть летом их значительно больше, чем зимой.

В некоторых районах, особенно в городских, загрязнения такого типа поступают в основном из антропогенных, а не из природных источников. Только в США из различных антропогенных источников ежегодно в атмосферу выбрасывается следующее количество ЛОС (млн т): транспортными средствами — 8,2; при сжигании топлива — 2,5; при проведении промышленных процессов — 3,9; в результате использования красок — 1,9; вследствие применения органических растворителей — 1,9; при хранении и реализации нефтепродуктов — 1,4; в результате лесных пожаров — 0,8; из других источников — 0,8. Как правило, наиболее высокое содержание ЛОС в атмосфере наблюдается в районах с высокой концентрацией населения. Важную роль в их образовании играют и другие факторы, прежде всего наличие предприятий химической и нефтехимической промышленности.

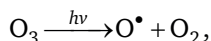
*Процессы, протекающие в атмосфере и приводящие к образованию кислотных дождей, можно разделить на следующие группы:*

- перенос выбросов ветром к зоне осадков при одновременном смешивании с незагрязнёнными воздушными массами;
- химические и физические процессы в газовой фазе, приводящие к изменению концентрации первичных соединений и химического состава воздушного потока;
- поглощение веществ антропогенного происхождения облаками и каплями дождя, их химические реакции в жидкой фазе и последующее выпадение загрязнений на поверхности в виде осадков;
- сухое выпадение (адсорбция на почве, кронах деревьев).

Атмосферу можно рассматривать как огромную окислительную систему с высоким содержанием основного окислителя — кислорода. Соединения, содержащие атомы С, Н, S и N природного и антропогенного происхождения, попадая в атмосферу, превращаются в стабильные долгоживущие соединения (например,  $\text{CO}_2$ ) или

в короткоживущие соединения кислотного характера (оксиды азота и серы), которые участвуют в жидкофазных процессах с образованием кислот, удаляемых из атмосферы с осадками. Это и есть кислотные дожди.

В превращениях, кроме кислорода, участвуют озон  $O_3$ , гидроксильный радикал  $\cdot OH$ , гидропероксидный радикал  $HO_2\cdot$ , органические пероксидные радикалы  $ROO\cdot$ , пероксиацетилнитрат (ПАН), пероксид водорода  $H_2O_2$ , нитрат-ион. Наиболее реакционноспособен гидроксильный радикал  $\cdot OH$ , он участвует в окислении оксидов азота и серы в азотную и серную кислоту. Далее по активности следует озон и ПАН, а также ион. В газовой фазе пероксид водорода и ПАН непосредственно в окислении газов не участвуют. Они служат резервуаром гидроксильных и пероксидных радикалов. В жидкофазном окислении участвуют пероксид водорода и озон. При фотозовождении озона светом протекает реакция

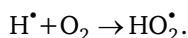
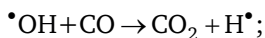


где  $\nu$  — частота, соответствующая длине волны  $\lambda < 200$  нм.

Примерно 1 % образующегося атомарного кислорода реагирует с парами воды, образуя гидроксильный радикал:



Радикалы  $HO_2\cdot$  образуются по двум последовательным реакциям с участием оксида углерода:



При наличии в атмосфере ЛОС гидроксильные радикалы активно взаимодействуют с ними, образуя пероксидные радикалы  $ROO\cdot$  и  $HO_2\cdot$ , и при этом с участием монооксида азота параллельно могут протекать фотохимические реакции. Общий химизм описывается следующей схемой:

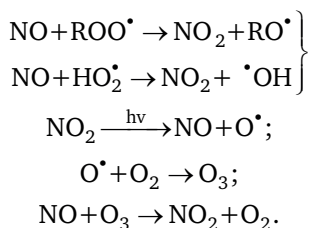
$(ЛОС) + 2 \cdot OH + 2NO \xrightarrow{h\nu} 2HO_2\cdot + (1-a)NO_2 + aRONO_2 + ПАН + RCHO$ ,  
где  $RONO_2$  — органические нитраты;  $RCHO$  — альдегиды;  $a < 1$ .

Генерация свободных радикалов не исчерпывается первыми двумя реакциями, большое количество их образуется при фотолизе оксидов азота, фотохимическом окислении альдегидов, фоторазложении ПАН и в реакциях озона с олефинами. При газофазном фо-

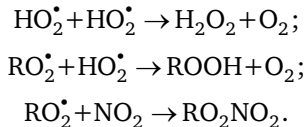


тохимическом цепном окислении углеводов получаются альдегиды, кетоны и органические кислоты. В результате газофазных реакций образуются кислотные продукты — азотная и серная кислоты.

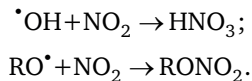
*В трансформации ЛОС и генерации окислителей ключевую роль играют оксиды азота.* Приведённые ниже реакции иллюстрируют как образование, так и расход окислителя (в данном случае — озона):



Образование окислителей, активных в жидкой фазе (в основном  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), происходит по реакциям:



В результате газофазных реакций образуются и алкоксидные радикалы  $\text{RO}^\bullet$ , которые вместе с  $\text{}^\bullet\text{OH}$  вступают в реакцию с диоксидом азота:



Время жизни свободных радикалов очень мало — обычно несколько минут, их локальные концентрации определяются количеством реагентов и уровнем солнечной радиации; на большие расстояния они не переносятся. Этим они отличаются от пероксида водорода и органических пероксидов, продолжительность жизни которых в летний период колеблется от нескольких часов до двух суток. Они могут переноситься с массами воздуха на достаточно дальнее расстояние. Общее время жизни пероксидов обусловлено

фотохимическим и термическим распадом, поэтому зимой соединения могут сохраняться 5–10 дней. Концентрация пероксида водорода в воздухе зависит от влажности и скорости выпадения осадков, поскольку он хорошо растворим в воде.

Время жизни органических пероксинитратов в приповерхностном слое атмосферы составляет несколько часов, а в тропосфере — несколько месяцев. Эти соединения могут переноситься на большие расстояния; они являются «резервуаром» для монооксида азота и свободных радикалов.

Для большинства указанных промежуточных соединений важен уровень освещённости, поэтому концентрация их резко изменяется как в течение дня, так и в дневное и ночное время.

Ночью в атмосферных процессах важную роль играет нитрат-ион, образующийся по следующей реакции:  $\text{NO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{O}_2$ .

Стационарная концентрация его определяется равновесным процессом образования  $\text{N}_2\text{O}_5$ :  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_5$ .

Нитрат-ион довольно активен и взаимодействует с С-Н-связями альдегидов и ароматических соединений фенольного типа с образованием азотной кислоты:  $\text{NO}_3^- + \text{RCHO} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{RCO}^\bullet$ .

Кроме того, нитрат-ион присоединяется к С=С-связям олефинов. Реакция его образования очень важна с точки зрения чистоты воздушных бассейнов — именно в результате этой реакции в ночное время в городах резко снижается концентрация озона. Однако в лесных массивах концентрация озона остаётся высокой и ночью.

*Как предшественники кислотных дождей наиболее важны азотная и серная кислоты.* В большинстве выбросов из антропогенных источников первичным продуктом является монооксид азота, который, реагируя с озоном и радикалами  $^\bullet\text{OH}$ , переходит в диоксид. Днём основное количество азотной кислоты в газовой фазе образуется в результате реакции:  $\text{NO}_2 + ^\bullet\text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$ .

Наибольшее содержание радикалов  $^\bullet\text{OH}$  наблюдается при соотношении летучих органических соединений и оксидов азота примерно 10:1. В этом случае достигается максимальная скорость образования азотной кислоты. В дневное время в кислоту переходит не более 10 % оксидов азота от суммарного количества, и оксиды азота вместе с воздушными массами могут переноситься на большие расстояния.

Гидроксильные радикалы способны реагировать с аэрозольными частицами, при этом их концентрация понижается, вследствие чего более чем в два раза может снижаться скорость накопления азотной кислоты. Последняя в дневное и ночное время неодинакова, причём

это различие наиболее сильно проявляется в летний и зимний периоды.

Летом скорость превращения оксидов азота в азотную кислоту в дневное время мало отличается от скорости в ночное время, а в зимний период ночью скорость образования кислоты в 10 раз выше, чем днём. Этим объясняются изменения в сезонном выпадении нитрат-аниона с осадками.

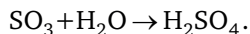
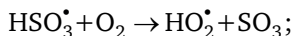
Около 1/3 кислотных осадков приходится на долю аэрозолей азотной и азотистой кислот, которые могут образовываться и при взаимодействии диоксида азота с водяным паром атмосферы:  $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$ .

Аэрозоли серной и сернистой кислот составляют 2/3 кислотных осадков.

Основная часть выбрасываемого диоксида серы во влажном воздухе образует кислотный полигидрат  $\text{SO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , который часто называют сернистой кислотой и изображают условной формулой  $\text{H}_2\text{SO}_3$ :  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ .

Газообразная серная кислота образуется из диоксида серы с участием гидроксильного радикала:  $\text{SO}_2 + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{HSO}_3\cdot$ .

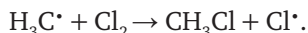
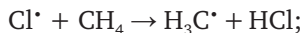
Радикал превращается в серную кислоту по реакциям



В соответствии с этими реакциями скорость образования серной кислоты возрастает пропорционально концентрации диоксида. Абсолютная же скорость конверсии диоксида серы невелика и в дневное время составляет 0,5 %/ч. Вместе с массами воздуха диоксид серы может переноситься на большие расстояния. Экспериментами и наблюдениями установлено существенное различие (примерно в 10 раз) в скоростях образования серной кислоты в летнее и зимнее время.

В ходе газофазных окислительных реакций, кроме азотной и серной кислот, образуются и органические кислоты — преимущественно муравьиная и уксусная. В их образовании участвуют в основном ЛОС, олефины и оксиды азота. В кислоты трансформируется примерно 5–10 % олефинов.

Существуют ещё два вида кислотных дождей, которые пока не отслеживаются мониторингом атмосферы. Находящийся в атмосфере хлор при соединении с метаном образует хлороводород, хорошо растворяющийся в воде с образованием аэрозолей соляной кислоты:



Очень опасны выбросы фтороводорода (производство алюминия, стекольное), который хорошо растворяется в воде, что приводит к появлению в атмосфере аэрозолей плавиковой кислоты.

Локальные выбросы летучих кислот (соляной, плавиковой и др.) или продуктов, трансформирующихся в атмосфере в кислоты (например, муравьиную), вносят дополнительный вклад в повышение естественной кислотности компонентов атмосферы. Из катионов, нейтрализующих сумму анионов в ионном составе атмосферных аэрозолей и осадков, лишь ион аммония образуется из газовой фазы, а другие ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) должны поступить с наземной или водной поверхности в составе солей твёрдых частиц. Таким образом, в ионном балансе атмосферных аэрозолей и осадков (в эквивалентах основных ионов)

$$[\text{H}^+] = \left\{ [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{F}^-] + [\text{HCOO}^-] \right\} \\ - \left\{ [\text{NH}_4^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] \right\}.$$

избыточное количество  $\text{H}^+$ -ионов может быть следствием как избытка газовых предшественников анионов, так и дефицита катионов терригенного или морского происхождения. Расчётное значение  $[\text{H}^+]$  для атмосферных осадков при фоновом уровне  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NH}_3$  в атмосферном воздухе близко к  $1,6 \cdot 10^{-6}$  моль/кг, что соответствует  $\text{pH} \approx 5,8$ . В обширных регионах с проявлениями кислотных выпадений среднегодовые значения  $\text{pH}$  осадков достигают 4,1–4,3, а в отдельных дождях — до 2,1.

Следует отметить, что пониженные значения  $\text{pH}$  дождей (4,5 и ниже) регистрируются и в фоновых регионах, удалённых как от техногенных, так и от природных (вулканы) источников газовых выбросов. Расчёты показывают, что такой уровень кислотности может достигаться при отсутствии в чистой атмосфере над океанами аммиака и карбоната кальция (продукта эрозии горных пород и почв).

*Таким образом, повышенная кислотность атмосферных выпадений может возникать не только вследствие загрязнения атмосферы, но и как результат дефицита щелочных компонентов — газообразного аммиака и литофильных катионов эрозионного происхождения.*

Эффекты закисления почв и поверхностных вод в регионах с повышенной кислотностью атмосферных выпадений зависят не только

от поступления  $H^+$ -ионов на единицу поверхности, но и от их *буферной ёмкости*. Последняя для большинства поверхностных вод определяется *карбонатной щёлочностью* — продуктом выветривания карбонатных пород. Рассматривая закисление поверхностных вод как процесс природного крупномасштабного титрования кислотами атмосферных осадков, А. Хенриксен (1980) обобщил данные по рН и химическому составу вод 719 озёр Южной Норвегии и  $pH_{oc}$  осадков. Он выделил три группы озёр: бикарбонатные ( $pH_b > 5,3$ ), переходные ( $4,7 < pH_b < 5,3$ ) и сильнозакисленные ( $pH_b < 4,7$ ), каждая из которых соответствовала определённой области номограммы  $pH_{oc}$ -концентрация  $Ca^{2+}$  в озёрной воде. Тем самым выявлена роль геологических условий формирования минерального состава озёрных вод и кислотности атмосферных выпадений в эффектах закисления водоёмов.

В зонах, характеризующихся низкой буферностью поверхностных вод, кислотные выпадения могут приводить к глубоким нарушениям функционирования не только отдельных фрагментов, но и целой экосистемы. При этом оказываются нарушенными естественные биогеохимические циклы ряда элементов. В частности, происходит иммобилизация некоторых металлов (*Me*), находящихся в минеральных компонентах почв, донных отложений и подстилающих пород. «Вторичное» загрязнение водоёмов растворимыми формами Al, Fe, Cd, Cu и ряда других *Me*, токсичных для гидробионтов, дополняет негативные последствия снижения рН воды.

При оценке токсичности металлов для водных организмов важно не только валовое содержание *Me*, но и то, какими химическими формами они представлены в воде. К *малотоксичным* относят формы, связанные с растворёнными органическими веществами, и прочные комплексы с неорганическими лигандами, к *наиболее токсичным* — свободные акваионы  $Me^{z+}$ . Поскольку при снижении рН долевое распределение разных форм *Me* меняется, эффекты закисления водоёмов могут отразиться на миграции, биодоступности и токсичности металлов, изначально присутствовавших в ненарушенной экосистеме.

Эти негативные последствия изучены для водоёмов Кольского полуострова, эпизодическое закисление которых в период снеготаяния («*весенний кислотный шок*») выражается кратковременным падением рН до 4,7–5,7 в ручьях разных ландшафтных зон. В этот период в воде всех типов ручьёв отмечен рост концентрации *Me* в ряду  $Mn > Cu > Al > Zn > Ni > Fe > Sr$  и увеличение доли ионных форм в ряду  $Sr > Mn > Ni > Al > Mo > Cu > Fe$ .

В водоёмах наиболее значимыми формами всех металлов оказываются акваионы  $Me^{2+}$  и формы, связанные с растворёнными органическими веществами и неорганическими лигандами ( $L$ ). При этом доля первых увеличивается, а вторых — уменьшается с ростом кислотности воды; для кадмия доминирует ионная форма, а для свинца —  $PbI$ . Для меди, в зависимости от pH, превалирует та или другая форма; с повышением pH вклад гидроксо- и карбонатных форм становится более заметным, чем для свинца и кадмия.

Соотношение разных форм меди, свинца и кадмия, как видно из табл. 4.2, сильно зависит от pH, причём при снижении pH растёт доля токсичных акваионов.

Таблица 4.2

**Долевое распределение основных форм меди, свинца и кадмия в озёрной воде при разных pH (Б. С. Смоляков, 2000), %**

Форма металла	Медь				Свинец				Кадмий			
	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0
pH	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$Me^{2+}$	33,9	14,2	4,7	0,9	38,5	16,7	5,6	1,4	81,3	58,4	31,3	52,3
$MeOH^+$	0,0	0,2	0,7	1,3	0,0	0,2	0,6	1,5	0,0	0,0	0,3	4,8
$Me(OH)_2^0$	0,0	0,0	1,4	26,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,1	0,01
$MeCO_3^0$	0,0	0,4	3,8	29,0	0,0	0,9	7,7	79,8	0,0	0,0	0,0	7,0
$MeL$	66,1	85,2	89,4	42,8	61,5	82,2	86,1	16,5	18,7	41,5	68,3	36,0

Одним из негативных последствий закисления поверхностных вод является повышение водной миграции тяжёлых металлов и доли их наиболее токсичных форм.

Известно, что при закислении водоёмов происходит изменение их экологического состояния. При снижении pH воды от оптимального уровня (6,8–8,5) в водной экосистеме развиваются признаки экологического и метаболического регресса; при  $pH < 6,0$  уменьшается видовое разнообразие, нарушаются пищевые цепи.

Таким образом, проблема кислотных выпадений является комплексной, включающей характеристику источников и процессов формирования компонентов атмосферы, ионного состава поверхностных вод, валового содержания и состояния металлов в водоёмах. Она стала предметом обширных исследований в ряде регионов мира.

## Выпадение кислотных дождей

Впервые кислотные дожди были отмечены в Западной Европе, в частности в Скандинавии, и Северной Америке в 1950-х гг. Сейчас эта проблема существует во всём индустриальном мире. Особое значение она приобрела в связи с возросшими техногенными выбросами оксидов серы и азота.

За несколько десятилетий размах этого бедствия стал настолько широк, а отрицательные последствия столь велики, что в 1982 г. в Стокгольме состоялась специальная международная конференция по кислотным дождям, в которой приняли участие представители 20 стран и ряда международных организаций. До сих пор острота этой проблемы сохраняется, она постоянно в центре внимания национальных правительств и международных природоохранных организаций.

В среднем кислотность осадков, выпадающих в основном в виде дождей в Западной Европе и Северной Америке на площади почти 10 млн км<sup>2</sup>, составляет 5–4,5, а туманы здесь нередко имеют рН, равный 3–2,5.

В последние годы кислотные дожди стали наблюдаться в промышленных районах Азии, Латинской Америки и Африки. Например, в Восточном Трансваале (ЮАР), где вырабатывается 4/5 электроэнергии страны, в виде кислотных осадков на 1 км<sup>2</sup> выпадает около 60 т серы в год. В тропических районах, где промышленность практически неразвита, кислотные осадки вызваны поступлением в атмосферу оксидов азота за счёт сжигания биомассы.

В России, например, наиболее высокие уровни выпадений окисленной серы и оксидов азота (до 750 кг/км<sup>2</sup> в год) на значительных по площади ареалах (несколько тыс. км<sup>2</sup>) наблюдаются в густонаселённых и промышленных регионах страны — в Северо-Западном, Центральном, Центрально-Чернозёмном, Уральском и других районах; на локальных ареалах (площадью до 1 тыс. км<sup>2</sup>) — в ближайшем следе металлургических предприятий, крупных ГРЭС, а также в больших городах и промышленных центрах (Москва, Санкт-Петербург, Омск, Норильск, Красноярск, Иркутск и др.), насыщенных энергетическими установками и автотранспортом.

Превышение уровня критических нагрузок по выпадению окисленной серы отмечается в ряде областей на европейской территории России (Ленинградская, Московская, Рязанская), по выпадениям оксидов азота — на половине этой территории.

В последнее время, согласно результатам измерений Гидромета России, наблюдается неизменное повышение кислотности дождей (минимальные значения  $\text{pH}=3,1-3,4$ ) на Урале и в Предуралье, на северо-западе и юге европейской территории России.

*Специфическая особенность кислотных дождей — трансграничный характер*, обусловленный переносом кислотообразующих выбросов воздушными течениями на большие расстояния — сотни и даже тысячи километров. Этому в немалой степени способствует принятая некогда «политика высоких труб» как эффективное средство против загрязнения приземного воздуха. Наибольший вклад в трансграничное подкисление природной среды России, например соединениями серы, вносят Украина, Польша, Германия. В свою очередь, из России больше всего окисленной серы направляется в страны Скандинавии. Соотношения здесь такие: с Украиной — 1:17, с Польшей — 1:32, с Норвегией — 7:1. Экспортируется «мокрая» часть выбросов (аэрозоли), сухая часть загрязнений выпадает в непосредственной близости от источника выброса или на незначительном удалении от него.

Почти все страны одновременно являются «экспортёрами» своих и «импортёрами» чужих выбросов. На примере Бельгии можно рассмотреть обмен кислотообразующими выбросами между различными странами (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Трансграничный перенос кислотообразующих выбросов,  $10^2$  т  
(Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1999)**

Страна-источник или страна-получатель	В Бельгию		Из Бельгии	
	$\text{SO}_x$	$\text{NO}_x$	$\text{SO}_x$	$\text{NO}_x$
Бельгия	89	42	89	42
Франция	88	52	131	102
Германия	121	62	134	116
Люксембург	1	1	3	2
Нидерланды	22	30	55	24
Великобритания	57	42	40	31
Другие страны ЕС	23	16	32	45
Другие страны ОЭСР	34	8	30	42
Другие (включая морские)	84	47	373	365
Общее	519	300	887	769



Обмен кислотообразующими и другими загрязняющими атмосферу выбросами характерен для всех стран Западной Европы и Северной Америки. Англия, Германия, Польша, Франция больше направляют окисленной серы к соседям, чем получают от них. Норвегия, Швеция, Финляндия больше получают окисленной серы от своих соседей, чем выпускают через собственные границы. До 70 % кислотных дождей в этих странах — результат «экспорта» из Англии, Германии и Польши. Трансграничный перенос кислотных осадков — одна из причин конфликтных взаимоотношений США и Канады.

## Влияние кислотных дождей на экосистемы и людей

Кислотные дожди оказывают многоплановое влияние на окружающую среду (рис. 4.2; 4.3).

В первую очередь отрицательному воздействию подвергаются водные экосистемы, почва и растительность.

Природные поверхностные воды обладают буферными способностями по отношению к посторонним водородным и гидроксильным ионам, то есть способностью поддерживать постоянную величину рН вблизи нейтральной точки; за пределами интервала значений рН = 4–13 буферная способность полностью утрачивается. Главным буферным соединением в воде является гидрокарбонат-ион  $\text{HCO}_3^-$ ,

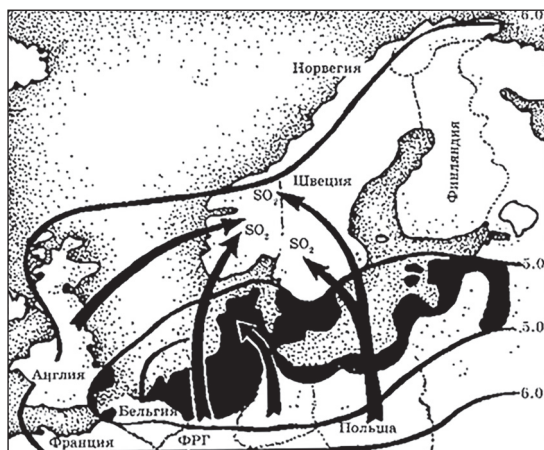


Рис. 4.2. Загрязнение (окисление) почвы в странах Северной Европы вследствие выпадения кислотных дождей (В. И. Коробкин и др., 2000). Цифрами показана кислотность поверхностных вод

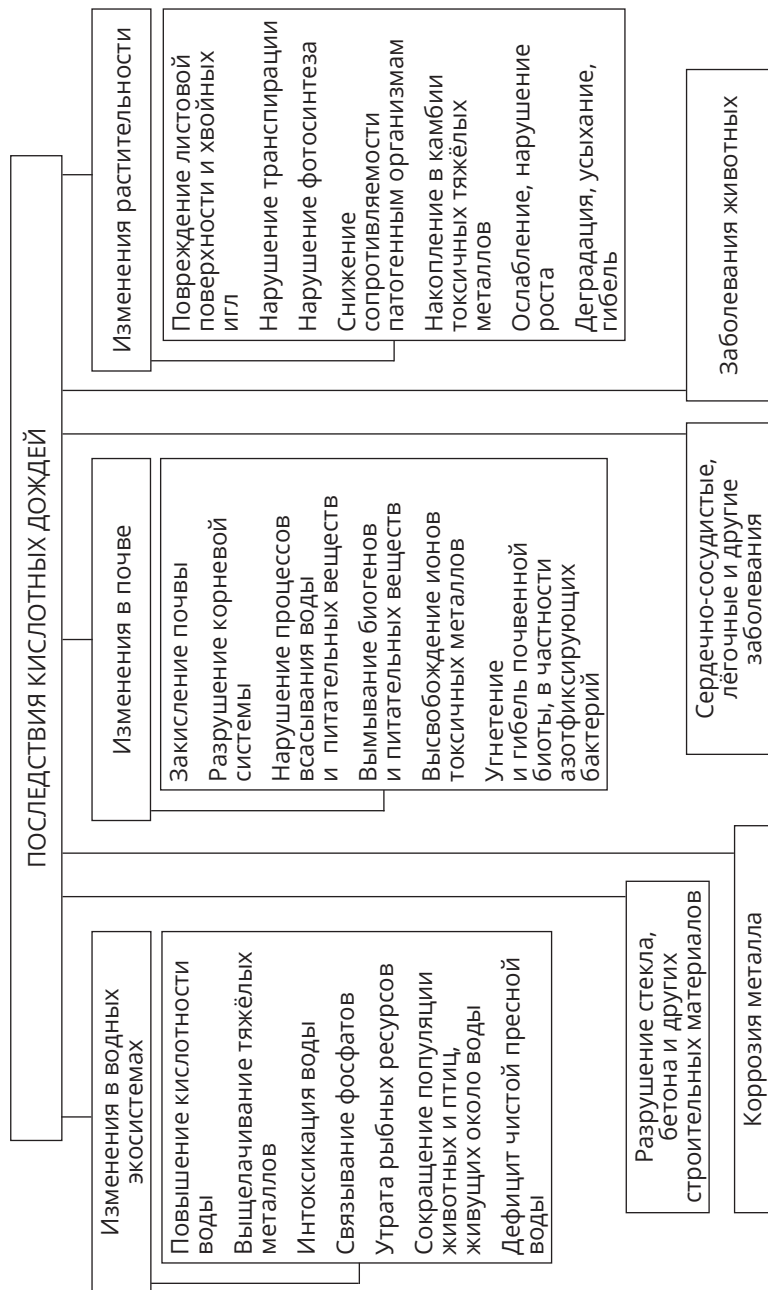
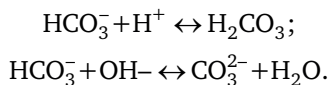


Рис. 4.3. Воздействие кислотных дождей на окружающую среду

образующийся при диссоциации угольной кислоты и способный нейтрализовать кислоты и основания:

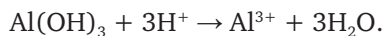


Таким образом, гидрокарбонат-ион принимает на себя более или менее значительную часть добавляемых водородных или гидроксильных ионов, благодаря чему рН меняется незначительно. Особенно высокими буферными способностями обладает морская вода, рН которой составляет в общем от 7 до 8,5, что соответствует слабощелочной реакции. Снеговые воды, а также большинство пресных водоёмов, особенно в северных областях земного шара, обладают слабыми буферными свойствами и имеют кислую реакцию:  $7 > \text{pH} > 4$ .

Самый богатый животный мир присущ водам, рН которых лежит в нейтральной или слабощелочной области. Он во много раз богаче, чем животный мир кислотных или щелочных вод. Водоёмы с очень кислыми водами необитаемы, жизни в них нет, как нет жизни и в водоёмах с  $\text{pH} > 11$ .

Первыми жертвами кислотных дождей стали озёра и реки. Сотни озёр в Скандинавии, на северо-востоке США и на юго-востоке Канады, в Шотландии превратились в кислотные водоёмы. Кислотные дожди привели к резкому снижению продуктивности 2 500 озёр Швеции, причём в 1 800 озёрах полностью утрачены признаки жизни. В Норвегии примерно половина поверхностных вод имеет повышенную кислотность, из 5 000 озёр в 1 750 исчезла рыба. В провинции Онтарио (Канада) пострадало 20 % озёр, а в провинции Квебек  $\approx 60$  % озёр. В целом, в Канаде из-за частых кислотных дождей стали мёртвыми более 4 000 озёр, а 12 000 озёр находятся на грани гибели.

При повышении кислотности воды (ещё до критического порога выживания водной биоты, например, для моллюсков таким порогом является  $\text{pH} = 6$ , для окуней —  $\text{pH} = 4,5$ ) в ней быстро нарастает содержание алюминия за счёт взаимодействия гидроксида алюминия придонных пород с кислотой:



Даже небольшая концентрация ионов алюминия (0,2 мг/л) смертельна для рыб. В то же время фосфаты, обеспечивающие развитие фитопланктона и другой водной растительности, соединяясь с алюминием, становятся малодоступны этим организмам.

Повышение кислотности приводит к появлению в воде высокотоксичных ионов тяжёлых металлов — кадмия, свинца и других, которые прежде входили в состав нерастворимых в воде соединений и не представляли угрозы живым организмам.

Дефицит питательных веществ и интоксикация воды приводит к своеобразной «стерилизации» водоёмов. Закислённая и токсичная вода разрушает скелеты рыб и раковины моллюсков, а главное — снижает репродуктивные процессы. В свою очередь, это приводит к сокращению популяций наземных животных и птиц, связанных с водной биотой трофическими цепями (цепи питания).

«Мёртвая вода» усиливает дефицит пресной воды, обусловленный возрастающими масштабами хозяйственного и бытового использования и её загрязнением.

Качество воды большинства рек и озёр России в течение последних лет не отвечает нормативным требованиям из-за сильного загрязнения промышленными сточными водами. Все основные реки России и их крупные притоки оцениваются как «загрязнённые» или «сильно загрязнённые». При таком положении кислотные осадки мало изменяют качественные характеристики воды. В то же время, например, на территории Карелии в результате выпадения кислотных осадков ( $\text{pH} < 4,7$ ) отмечены частые случаи закисления многих озёр, что вызвало сокращение запасов лососёвых и сиговых рыб.

Почвенные организмы более приспособлены к пониженным значениям  $\text{pH}$  почвенной влаги, но и они угнетаются возрастающей кислотностью, особенно азотфиксирующие бактерии и грибки. Разрыхляющие почву дождевые черви могут жить в слабокислых почвах, в таких условиях они «нейтрализуют» почвенные кислоты с помощью выделяемой ими извести; в кислой почве дождевые черви погибают. Среди других нарушений, происходящих в почве вследствие её подкисления, следует отметить нарушение процессов питания растений, разрушение их корневой системы. При уменьшении  $\text{pH} < 5$  начинается прогрессивное уменьшение плодородия почв, а при  $\text{pH} = 3$  почвы становятся практически бесплодными. Наибольшей опасности закисления подвержены подзолистые почвы таёжной зоны.

*Почвенное подкисление* считается одной из основных причин усыхания лесов умеренной зоны северного полушария. Причём этот долго действующий фактор может проявиться через много лет после прекращения вредных кислотообразующих выбросов в атмосферу.

Больше всего страдают елово-пихтовые и дубовые леса. Непосредственное воздействие кислотных осадков приводит к нарушению листовой поверхности, процессов транспирации (испарение с поверхности листа) и фотосинтеза за счёт разрушения хлорофилла (это воздействие можно определить зрительно: листья и иглы приобретают бурую окраску).

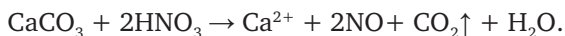
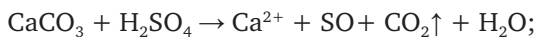
*Многообразно косвенное влияние:* загрязнение выступает в роли пусковых механизмов биологических и биохимических процессов, ослабляющих растение, нарушающих его рост, повышающих чувствительность к климатическим изменениям, делающих его менее устойчивым к вредителям — грибам, бактериям, жукам и др.

В то же время подкисление почвы азотнокислыми дождями стимулирует развитие лесных вредителей. Кислотные выпадения привели к ухудшению состояния и гибели лесов в различных регионах мира на площади более 31 млн га.

Наибольший урон кислотные дожди нанесли лесам Центральной Европы, в частности, 35 % лесов Германии (на площади более 2,5 млн га) повреждены ими. Ущерб от кислотных дождей для европейских лесов оценивается в 118 млн м<sup>3</sup> древесины в год (из них около 35 млн м<sup>3</sup> на европейской территории России). В меньшей степени от кислотных дождей страдают сельскохозяйственные растения, поскольку подкисление почв здесь можно регулировать агрохимикатами.

Воздействию кислотообразующих газов и кислотных осадков *подвергаются органические материалы* — кожа, бумага, ткани, резина, красители. Бумага, большинство тканей, кожа образованы гидрофильными веществами, которые накапливают воду между волокнами. Кислоты постепенно гидролизуют макромолекулы (главным образом целлюлозы и белков), в результате чего эти материалы становятся хрупкими и разрушаются. Как восстановитель, диоксид серы вызывает обесцвечивание красителей, что приводит к выцветанию тканей.

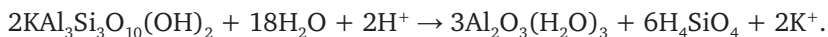
Известняк, мел, мрамор, туф, содержащие карбонат кальция, разрушаются под действием кислотных дождей:



Многие скульптуры и здания в Риме, Венеции и других городах, памятники зодчества, такие, как Акрополь в Афинах, Кёльнский собор и другие, за несколько последних десятилетий получили

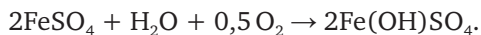
значительно большие повреждения, чем за всё предыдущее время. Под угрозой полного разрушения в результате действия кислотных осадков находятся более 50 тыс. скульптур скального «Города Будд» под Юньанем в Китае, построенного 15 веков назад.

Из бетона и других минеральных строительных материалов, а также из стекла под воздействием кислотных дождей выщелачиваются не только карбонаты, но и силикаты. Если pH осадков достигает значений, равных 4,5–3, то ионы алюминия начинают вымываться из кристаллической решётки. С уменьшением pH интенсивно протекает разрушение силикатной кристаллической структуры, как, например, в полевом шпате (сырьё для производства керамики, стекла, цемента):



Подобным образом кислотные дожди разрушают древние стёкла церквей, соборов и дворцов. Старинное стекло из-за повышенного содержания оксидов щелочных и щёлочноземельных металлов более подвержено действию кислот, чем современное.

Металлы под действием кислотных дождей, туманов и рос, разрушаются быстрее, чем строительные материалы и стекло. Корка образующегося на поверхности железных изделий гигроскопического сульфата железа (II) окисляется кислородом воздуха, при этом образуется основная соль сульфата железа (III), являющаяся составной частью ржавчины:



Такой же ущерб претерпевают изделия из бронзы, на которых образуется так называемая патина, состоящая из карбонатов и сульфатов. Слои пыли и копоти на поверхности создают плёнку, удерживающую влагу, в которой постоянно растворяются кислотообразующие газы. Кислота разъедает металл, переводя его в виде ионов в раствор, что становится заметным при отслаивании корки налёта, достигающей миллиметровой толщины. Изделие при этом теряет свою первоначальную форму.

Загрязнение воздуха кислотообразующими выбросами оказывает *вредное влияние и на организм человека.*

Вдыхание влажного воздуха, содержащего диоксид серы, особенно опасно для пожилых людей, страдающих сердечно-сосу-

дистыми и лёгочными заболеваниями, в тяжёлых случаях может возникнуть отёк лёгких. Установлена тесная взаимосвязь между повышением смертности от бронхитов и ростом концентрации диоксида серы в воздухе. При появлении в городском воздухе диоксида серы даже на уровне  $100 \text{ мкг/м}^3$  количество заболеваний дыхательных путей резко возрастало. Кроме того, известно, что диоксид серы увеличивает частоту новообразований, вызванных бенз(а)пиреном.

Многочисленные исследования показали увеличение числа заболеваний дыхательных путей в районах, воздух которых загрязнён диоксидом азота  $\text{NO}_2$ . Попадая в дыхательные пути, он взаимодействует с гемоглобином крови, затрудняя перенос кислорода к органам и тканям, вызывает респираторные, астматические и сердечные заболевания. В феврале 1972 г. в Японии по этой причине заболело более 70 тыс. человек, для многих из них заболевание имело летальный исход.

Кислотные дожди оказывают вредное воздействие и на животный мир, но систематические исследования в этой области не проводились, за исключением обитателей водных экосистем.

## 5. Смог

**Смог** (от англ. *smoke* — дым) — газообразные и твёрдые примеси в сочетании с туманом или аэрозольной дымкой, образующиеся в результате их преобразования и вызывающие интенсивное загрязнение атмосферы.

Представляет собой образованную из дыма и газообразных отходов (особенно диоксида серы) туманную завесу над промышленными районами и большими городами.

Метеорологическими предпосылками образования смога являются температурная инверсия (рис. 4.4) и тихая безветренная погода, существенную роль играет рельеф.

Смог чаще наблюдается в городах, расположенных в котловинах или слабо продуваемых долинах. При этом слой более тёплого воздуха расположен над приземным слоем холодного воздуха (ниже 700 м), движение воздуха вблизи поверхности Земли почти отсутствует (менее 3 м/с). Горизонтальный и вертикальный обмен воздуха затруднён. Загрязняющие вещества, которые обычно через высо-

кие дымовые трубы распределяются в высоких слоях и переносятся на большие расстояния, в данном случае скапливаются в приземном слое.

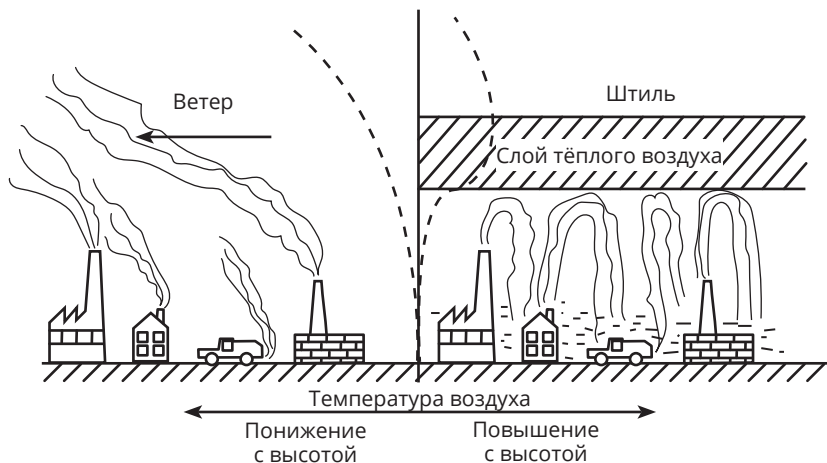


Рис. 4.4. Метеорологические условия формирования смога

На рис. 4.4 слева — рассеяние загрязняющих веществ при нормальном изменении температуры воздуха с высотой — её понижении, справа — образование смога в результате инверсии температуры воздуха — образование слоя тёплого воздуха над населённым пунктом, что препятствует рассеянию загрязняющих веществ.

## Типы смога

Различают три типа городского смога.

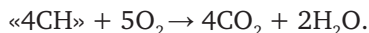
Первый — так называемый ледяной смог — образуется в Арктике и Субарктике при сильных морозах. Его источником служат главным образом тепловые электростанции. Это в основном водяной пар, превращающийся в мелкие кристаллы льда, сильно ухудшающие видимость. Оксиды серы, взаимодействуя с водяными парами, образуют серную кислоту, мелкие капли которой также входят в состав ледяного смога.

Второй тип — «лондонский» смог, известен уже более 100 лет, образуется преимущественно во влажном умеренном климате (в горо-

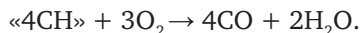


дах Западной Европы и др.). Главный источник его — выбросы тепловых электростанций, промышленных предприятий, бытовых топок. Так, знаменитый английский смог сформировался на основе интенсивной добычи и использования угля в качестве традиционного вида топлива.

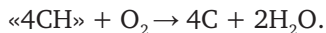
Топливо обычно состоит из углеводов. Опишем обычный процесс сгорания топлива (условно «4СН») согласно уравнению



Этот процесс не производит впечатления особо опасной деятельности, поскольку ни  $\text{CO}_2$ , ни вода не являются слишком токсичными. Рассмотрим, однако, ситуацию, когда в процессе сжигания имеет место недостаток кислорода, что может случиться внутри двигателя или котла. Теперь уравнение можно записать так:



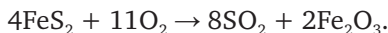
Образуется оксид углерода  $\text{CO}$ , ядовитый газ. Если кислорода ещё меньше, можно получить углерод, то есть сажу:



При низких температурах и в случаях относительно небольшого количества  $\text{O}_2$  реакции пиролиза (то есть реакции, когда разрушение происходит в результате нагревания) могут вызвать изменения в расположении атомов, приводя к образованию полициклических ароматических углеводов в процессе сжигания, в том числе бенз(а)пирена.

Таким образом, несмотря на то, что сжигание топлива первоначально кажется безвредным, оно может привести к образованию ряда загрязняющих соединений углерода. Когда были созданы первые паровые двигатели, инженеры полагали, что избыток кислорода может преобразовать весь углерод в  $\text{CO}_2$ . Поэтому они приняли философию «сжигания своего собственного дыма», что хотя и потребовало большого мастерства для осуществления, но в результате имело лишь ограниченный успех.

Кроме того, загрязнение воздуха могут вызвать вещества, входящие в состав топлива. Наиболее распространённой примесью в ископаемом топливе является сера, частично представленная в виде минерала пирита  $\text{FeS}_2$ . В некоторых углях может содержаться до 6 % серы, которая превращается при сжигании в  $\text{SO}_2$ :



В топливе присутствуют и другие примеси, но сера всегда считалась наиболее типичным загрязнителем воздуха городов.

Если рассмотреть состав различных видов топлива (табл. 4.4), видно, что они содержат сильно варьирующее количество серы. Наибольшее содержание серы найдено в углях и горючих маслах. Это виды топлива, используемые в стационарных источниках: котлы, печи (и традиционные паровые двигатели), домовые трубы, паровые турбины и электростанции.

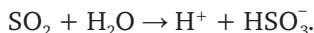
Таблица 4.4

Содержание серы в различных видах топлива, %

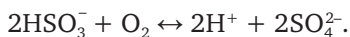
Топливо	Сера
Уголь	0,2–0,7
Горючие масла	0,5–0,6
Кокс	1,5–2,5
Дизельное топливо	0,3–0,9
Бензин	0,1
Керосин	0,1
Дерево	Очень мало
Природный газ	Очень мало

Серное загрязнение, дым, сажа в атмосфере городов обусловлены прежде всего стационарными источниками. Сажа и  $\text{SO}_2$  являются, очевидно, первичными загрязнителями, поскольку они образуются прямым путём из хорошо известного загрязняющего источника и проникают в атмосферу в этой форме.

Диоксид серы хорошо растворим и поэтому может растворяться в воде, которая конденсируется вокруг частиц дыма:



Следы металлов-загрязнителей (железа или марганца) катализируют переход растворённого  $\text{SO}_2$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



Серная кислота обладает большим сродством к воде, поэтому образовавшаяся капелька дополнительно адсорбирует воду. Капельки постепенно растут, и туман сгущается, достигая очень низких значений рН.

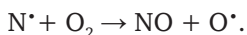
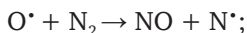
С середины 1960-х гг. обдуманый переход на сжигание бездымного топлива, внедрение очищающих устройств и фильтров, жёсткий контроль за выбросами привели к тому, что загрязнение воздуха в Лондоне резко сократилось.

Особенно опасен третий тип — так называемый фотохимический, или лос-анджелесский смог, характерный для субтропиков и южных городов умеренного пояса.

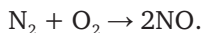
Фотохимический смог был впервые отмечен в Лос-Анджелесе во время Второй мировой войны. Сначала полагали, что он сходен с загрязнением воздуха, наблюдаемым в других местах, но традиционные методы борьбы с дымом не привели ни к какому улучшению. В 1950-х гг. стало ясно, что это загрязнение другого рода, и эксперты были поставлены в тупик. А. Хааген-Смит, изучавший увядание растительности в воздушном бассейне Лос-Анджелеса, пришёл к выводу, что фотохимический смог — это результат в основном химических реакций между оксидами азота и углеводородами, поступающими, главным образом, из выхлопов автомобилей и идущих под действием солнечного света фотохимических реакций.

В Лос-Анджелесе интенсивный смог бывает около 60 дней в году (в эти дни в городе объявляется воздушная тревога). В составе смога определяется около 600 химических соединений.

Хотя традиционно загрязнение воздуха и смог считали тесно взаимосвязанными, всегда находились исследователи, полагавшие, что не только дым вносит вклад в загрязнение воздуха. Рассмотрим, как примеси в топливе дают начало другим загрязнителям. Тот факт, что топливо сжигается не в  $O_2$ , а в воздухе, также имеет важные последствия. Известно, что воздух является смесью  $O_2$  и  $N_2$ . При высокой температуре в пламени молекулы в воздухе могут распадаться и даже молекулы сравнительно инертного  $N_2$  подвергаются реакциям:

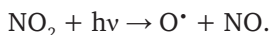


В результате образуется атом кислорода, который входит в первое уравнение. Однажды возникший в пламени атом кислорода будет воссоздаваться и участвовать во всей цепочке реакций, приводящих к образованию NO. Если просуммировать две данные реакции, получим

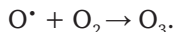


Кроме того, некоторые виды топлива содержат соединения азота в качестве примесей, в результате продукты сгорания примесей служат дальнейшим источником оксидов азота.

Окисление оксида азота в смоге даёт диоксид азота, бурый газ. Этот цвет означает, что газ поглощает свет, фотохимически активен и претерпевает диссоциацию:

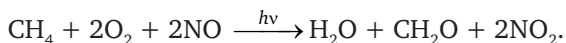


Согласно уравнению, вновь возникает оксид азота, а также одиночный и реакционноспособный атом кислорода, который может вступать в реакции с образованием  $\text{O}_3$ :



Озон — единственный загрязнитель, который наиболее ясно характеризует фотохимический смог. В больших американских городах концентрация озона в воздухе достигает 2–3 мг/м<sup>3</sup>, то есть в 100–200 раз больше, чем в чистом воздухе. Однако  $\text{O}_3$  не выбрасывается автомобилями (или любым основным загрязнителем). Это вторичный загрязнитель.

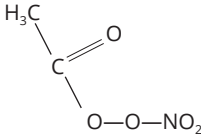
ЛОС (летучие органические соединения), высвобождаемые благодаря использованию топлив на основе бензина, способствуют превращению  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$ . Эти реакции очень сложные, но их можно упростить, взяв простую органическую молекулу, например  $\text{CH}_4$ , для описания выхлопов от автотранспорта:



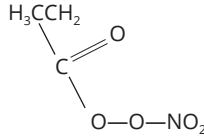
В результате, во-первых, образуется  $\text{NO}_2$ , во-вторых, углеводород топлива окисляется до альдегида (то есть молекулы, содержащей СНО-группу).

- Кроме оксидов  $\text{NO}_x$  и озона, в фотохимическом смоге присутствуют:
- монооксид углерода  $\text{CO}$  (продукт неполного сгорания бензина);
  - углеводороды  $\text{C}_x\text{H}_y$  (например,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ , высшие алкены и т. п.);
  - альдегиды (метаналь, этаналь, пропаналь и более сложные производные);
  - пероксиацилнитраты (ПАН).

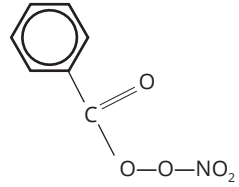
Далее приведены формулы трёх выявленных представителей ПАН:



Пероксиацетилнитрат

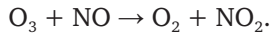
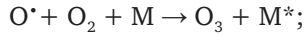


Пероксипропионилнитрат



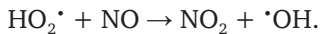
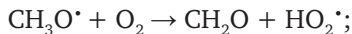
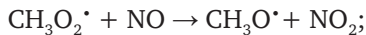
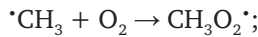
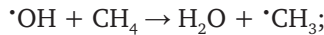
Пероксибензоилнитрат

Реакции, в которые входят оксиды азота ( $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ), лежат в основе фотохимического смога:



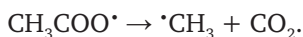
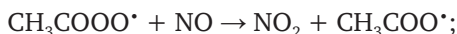
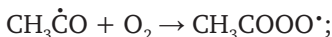
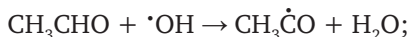
Традиционно процессы, в ходе которых разрушается и образуется диоксид азота, представляют в виде некоего равновесия, описываемого константой равновесия, связывающей парциальные давления двух оксидов азота и  $\text{O}_3$ :  $K = \frac{p\text{NO} \cdot p\text{O}_3}{p\text{NO}_2}$ .

Если бы концентрация  $\text{NO}_2$  увеличивалась таким образом, чтобы при этом не использовался  $\text{O}_3$ , тогда равновесие поддерживалось бы за счёт увеличения концентрации  $\text{O}_3$ . Это происходит в фотохимическом смоге через посредничество радикалов гидроксила в процессе окисления углеводородов. Рассмотрим метан в качестве простого примера этого процесса:



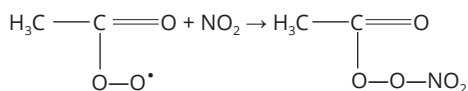
Реакции показывают превращение оксида азота  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  и простого алкана типа  $\text{CH}_4$  в альдегид, в данном случае формальдегид. Заметим, что радикал  $\cdot\text{OH}$  восстанавливается, потому может считаться в некотором роде катализатором. Несмотря на то, что

реакция протекает в фотохимическом смоге, воздействие радикала  $\cdot\text{OH}$  на большие и сложные органические молекулы более быстрое. Альдегиды также могут претерпевать воздействие радикалов  $\cdot\text{OH}$ :



Метил-радикал ( $\cdot\text{CH}_3$ ) из последнего уравнения может возвращаться в уравнение  $\cdot\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OO}\cdot$ .

Важным дополнением к этому ряду является образование ПАН:



Пероксиацетилнитрат

Смог, обнаруженный в бассейне Лос-Анджелеса, сильно отличается от того, который рассматривался как типичный для городов, где сжигают уголь. Когда образуется лос-анджелесский смог, тумана нет и видимость не уменьшается до нескольких метров, что было характерно для лондонских туманов. Конечно, быстрее всего смог Лос-Анджелеса образуется в солнечные дни. Лондонские туманы развеивались ветром, но лёгкие морские бризы в бассейне Лос-Анджелеса удерживают загрязнение вблизи гор и препятствуют его попаданию в море. Полный список различий смогов Лос-Анджелеса и Лондона приводится в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Сравнение смогов Лос-Анджелеса и Лондона

Характеристика	Лос-Анджелес	Лондон
Температура воздуха	от 24 до 32 °С	от -1 до 4 °С
Относительная влажность	< 70 %	85 % (+ туман)
Тип температурных изменений	Падение на высоте 1000 м	Излучение на высоте нескольких сотен метров
Скорость ветра	< 3 м/с	Безветренно
Видимость	< 0,8-1,6 км	< 30 м
Месяцы наиболее частого появления	Август—сентябрь	Декабрь—январь

Характеристика	Лос-Анджелес	Лондон
Основное топливо	Бензин	Уголь и бензин
Основные составляющие	O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, органические вещества	Частички вещества, CO, соединения S
Тип химической реакции	Окислительная	Восстановительная
Время максимального сгущения	Полдень	Раннее утро
Основное воздействие на здоровье	Временное раздражение глаз (ПАН)	Раздражение бронхов, кашель (SO <sub>2</sub> , копоть)
Повреждающиеся материалы	Трескается резина (O <sub>3</sub> )	Разрушаются железо, бетон

## Воздействие смога на здоровье людей и экосистемы

Такие сильные окислители, как озон и ПАН, пагубно влияют на здоровье человека, раздражая слизистую глаз и органы дыхания. Смог увеличивает число респираторных, сердечно-сосудистых, раковых и других заболеваний. При катастрофическом смоге в Лондоне в 1952 г. за две недели погибло 4 000 человек. В 1962 г. в Рурской области ФРГ в результате сильного смога погибло 150 человек. Особую опасность смог представляет для детей, пожилых и больных людей.

Кроме того, смог оказывает вредное воздействие на городскую растительность, ингибируя многие ферментативные реакции в организмах растений: в частности, реакции энергоснабжения (цикл Кребса). Отрицательное биологическое воздействие NO<sub>x</sub> на живые организмы проявляется в обесцвечивании листьев, увядании цветов, прекращении плодоношения и роста. Такие явления объясняются образованием кислот при растворении оксидов в межклеточной и внутриклеточной жидкостях.

## 6. Трансграничное загрязнение воздуха

*Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха* — загрязнение атмосферного воздуха в результате переноса вредных (загрязняющих) веществ, источник которых расположен на территории другого государства. Выпадение «кислотных дождей» на территории стран, сопредельных с государствами — источниками поступления кислотообразующих газов в атмосферу, — пример трансграничного загрязнения атмосферного воздуха. В международном праве проблема загрязнения регулируется различными документами, конвенциями, договорами и протоколами. В первую очередь это Конвенция о трансграничном загрязнении атмосферного воздуха на большие расстояния Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН, принятая в 1979 г. Конвенция является одним из основополагающих международных соглашений, обеспечивающих координацию усилий в области исследований и мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и его последствий на региональном уровне, а также разработки стратегий сокращения выбросов. Данный документ положил основу по ограничению выбросов конкретных загрязнителей путём разработки протоколов, обладающих обязательной юридической силой. За период с 1984 г. принято восемь протоколов. Они направлены на сокращение выбросов и трансграничных потоков серы (диоксида серы), окислов азота, летучих органических соединений (ЛОС), тяжёлых металлов и стойких органических загрязнителей (СОЗ). Представление о роли трансграничного загрязнения европейской территории России дают следующие данные. Метеорологический синтезирующий центр «Восток» в рамках программы ЕМЕП (МСЦ-В, г. Москва) на основе экспертных оценок данных по выбросам выполнил ориентировочные расчёты трансграничного переноса свинца и кадмия. Результаты этих расчётов показали, что загрязнение территории России свинцом и кадмием, переносимыми из других стран, в основном из стран — участников Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, значительно превышает загрязнение территории этих стран свинцом и кадмием от российских источников, что обусловлено доминированием западно-восточного переноса воздушных масс. «Импорт» этих металлов в Россию из Польши, Германии и Швеции более чем в 10 раз превышает их «экспорт» из России. «Импорт»



свинца из Украины, Белоруссии и Латвии в 5–7 раз превышает его «экспорт» из России, а «импорт» кадмия из этих стран и Финляндии — в 7–8 раз. При этом выпадения свинца на европейской территории России (ЕТР) довольно значительны и составляют ежегодно: из Украины — около 1 100 т, Польши и Белоруссии — по 180–190 т, Германии — более 130 т. Выпадения кадмия на ЕТР из Украины ежегодно превышают 40 т, Польши — почти 9 т, Белоруссии — около 7 т, Германии — более 5 т, Финляндии — свыше 6 т. Эти поступления особенно существенны для западных регионов России. От источников на территории Российской Федерации суммарные выпадения свинца и кадмия на её европейские территории составляют около 70 %, а на долю источников других стран приходится 30 %. Однако доля трансграничного загрязнения этими металлами западных районов России значительно превышает 30 %. В 2010 г. совместной программой наблюдений и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе (ЕМЕП), осуществляемой в рамках Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, представлены данные за 2008 г. Согласно этим данным, на Европейской территории России (ЕТР), подпадающей под действие Конвенции, общая масса выпавшей окисленной серы ( $SO_x$ ) от всех отечественных и зарубежных источников (антропогенных и природных) составила 1 270 тыс. т, в том числе: от российских источников — 533 тыс. т (42,0 %), зарубежных — 736,7 тыс. т (58,0 %). Основными районами трансграничного влияния на атмосферу России являются: Западная и Восточная Европа (особенно Германия и Польша), северо-восточные районы Эстонии, Украина, Северо-Западный Китай, Северная Монголия. К основным районам трансграничного влияния России на атмосферу сопредельных территорий относятся: Финляндия, Норвегия, Эстония, Казахстан. Трансграничному загрязнению подвергается не только атмосферный воздух, но и водные объекты, почвы и другие компоненты природной среды.

## 7. Антропогенное воздействие на гидросферу

В настоящее время усиливается влияние антропогенных факторов на гидросферу.

Основными источниками загрязнения природных вод являются:

1. *Атмосферные воды (осадки)*, несущие большое количество вымываемых из воздуха загрязняющих ингредиентов промышленного происхождения. При стекании по склону атмосферные и талые воды дополнительно смывают с поверхности почвы загрязнители. В городских условиях потоки воды несут большое количество нефтепродуктов, фенолов, кислот, высокотоксичных элементов, мусора и т. п.

2. *Городские сточные воды*, которые содержат в основном бытовые стоки — растворённые фекальные массы, детергенты (поверхностно-активные моющие средства), разнообразные, в том числе и патогенные микроорганизмы.

3. *Промышленные сточные воды* всех отраслей производства, которые содержат большое количество элементов и веществ, обладающих различной степенью ядовитости и канцерогенности.

4. *Сельское хозяйство*, в котором при нерациональном (в основном избыточном) внесении удобрений и пестицидов последние смыываются с полей и даже проникают в грунтовые воды.

Попадают в водные источники и органические удобрения (отходы животноводства) — навоз, подстилка, мочевина. Эти отходы не ядовиты, но массы их огромны.

## Особенности загрязнения Мирового океана

Динамичность океанической среды, совокупность постоянно действующих важнейших физических явлений определяют характерные черты современной экологической ситуации в Мировом океане.

1. Перенос техногенных примесей интенсивными течениями на большие расстояния, а также в открытые районы океана и поражение наиболее ранимых экосистем океанической среды, например, экосистем коралловых рифов, апвеллингов, северных и других на ранних стадиях их развития.

2. Возникновение полей хронического загрязнения в областях схождения разнородных водных масс, структурных течений, в эстуарийных зонах и зонах квазистационарных круговоротов. Эти районы, а также легкорастворимые экосистемы могут быть условно отнесены к экологически напряжённым зонам Мирового океана.

3. Переносы технических примесей в более глубокие слои океана, их накопление в морских организмах и во взвешенном органическом веществе. Такие явления приводят к образованию критических

концентраций нефтяных, хлорированных углеводородов и токсических металлов в прибрежных районах, а также в открытых зонах океана вследствие большой зависимости элементов экосистемы от крупномасштабной циркуляции.

Загрязнение океана связано главным образом с поступлением в его акваторию огромного количества антропогенных вредных веществ (тяжёлые металлы, хлорорганические соединения, нефтяные углеводороды, радионуклиды и др.). Степень воздействия на экосистему океана зафиксирована в табл. 4.6, где видна доля антропогенного вклада в загрязнение океана приоритетными токсикантами.

Таблица 4.6

**Антропогенная нагрузка на океан  
по приоритетным загрязняющим веществам**

Загрязняющее вещество	Сток, т/год		Доля антропогенного стока, %
	естественный	антропогенный	
Свинец	$1,8 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^6$	92
Ртуть	$3,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^3$	70
Кадмий	$1,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	50
Нефть	$6,0 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^6$	88
ПХБ	–	$8,0 \cdot 10^3$	100
Пестициды	–	$1,1 \cdot 10^4$	100

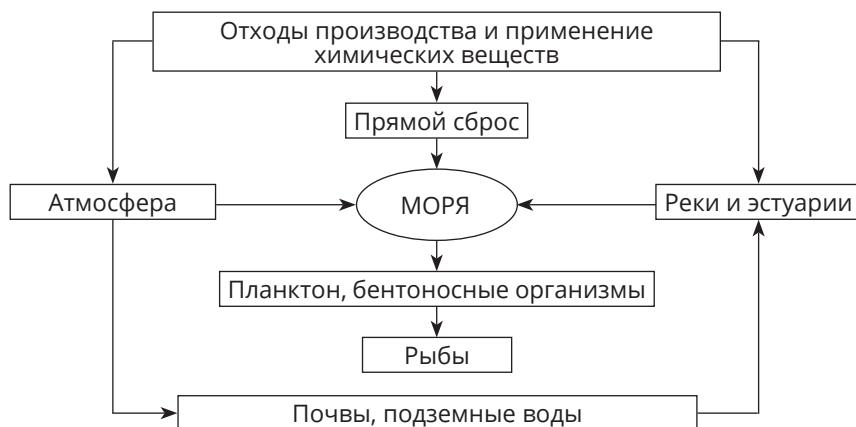


Рис. 4.5. Пути попадания загрязняющих веществ в моря

В настоящее время в океан ежегодно поступает более 30 000 различных химических соединений в количестве до 1,2 млрд т. Основные пути попадания загрязняющих веществ в моря показаны на рис. 4.5. Это прямой сброс, поступление токсикантов с речным стоком и из атмосферного воздуха, в результате уничтожения отходов в море, а также морским транспортом и во время аварий танкеров.

## Загрязнение природных вод соединениями тяжёлых металлов

Соединения тяжёлых металлов (ТМ) поступают в океан в процессе атмосферного и речного переноса. Атмосфера может быть эффективным, а иногда доминирующим звеном в цепочке переноса загрязняющих веществ в Мировой океан. О масштабах процесса говорит то, что это поступление сопоставимо с поступлениями из рек (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Глобальное поступление металлов в Мировой океан

Состояние	Свинец <sup>1</sup>	Кадмий <sup>2</sup>	Медь <sup>3</sup>	Никель <sup>4</sup>	Цинк <sup>5</sup>	Мышь- як <sup>6</sup>	Железо <sup>7</sup>
Атмосферный приток							
Раствор	50–100	1,9–3,3	14–45	8–11	33–170	2,3–5	1,6–4,8
Твёрдый	6–12	0,4–0,7	2–7	14–17	11–55	1,3–3	14–42
Речной приток							
Раствор	2	0,3	10	11	6	10	1,3
Твёрдый	1 600	15	1 500	1 400	3 900	80	110

Условные обозначения: <sup>1–6</sup> — в 10<sup>9</sup> г/год; <sup>7</sup> — в 10<sup>12</sup> г/год.

Как видно из табл. 4.7, реки являются основными поставщиками металлов. Для растворённых форм металлов вклады атмосферы и рек примерно одинаковы для меди и никеля, атмосферный приток доминирует для цинка, кадмия и особенно для свинца.

Серьёзные усилия по снижению выбросов в атмосферу свинца (источником которого являются двигатели внутреннего сгорания, работающие на этилированном бензине), предпринимаемые в настоящее время, должны привести к снижению концентраций свинца в океанских водах.

*Загрязнение хлорорганическими соединениями.* Основным источником поступления хлорорганических соединений (ПХБ, ДДТ и др.) является атмосфера (табл. 4.8).

Таблица 4.8

**Атмосферный и речной приток хлорорганических соединений  
в Мировой океан**

Соединение	Атмосферный приток, 10 <sup>6</sup> г/год	Речной приток, 10 <sup>6</sup> г/год	% атмосферного притока
ПХБ	240	60	80
ГХ	4 750	60	99
ДДТ	165	4	98
ГХБ	77	4	95
Дильдрин	43	4	91

**Примечание.** ПХБ — полихлорбифенил, ГХ — гексахлоран, ГХБ — гексахлорбензол.

Оценки поступлений в Мировой океан хлорорганических соединений показывают, что в большинстве случаев вклад атмосферы составляет 90 % и более.

В водах океана уже сконцентрировано около 500 тыс. т ДДТ, с каждым годом их количество возрастает на 45 тыс. т. Глобальное распространение получили хлорорганические соединения, обладающие высокой биоаккумулирующей способностью и ярко выраженным токсичным эффектом.

Нефтяное загрязнение представляет особую опасность для морских экосистем, так как 20–30 % поверхности Мирового океана покрыто нефтяными плёнками. Такие тончайшие плёнки способны нарушать важнейшие физико-химические процессы в океане, приводящие к нежелательным последствиям глобального масштаба, а также отрицательно воздействовать на гидробиоценозы. Будучи молекулярно устойчивыми, они накапливаются в поверхностном слое воды, в донных осадках, морской биоте, передаваясь по трофическим цепям, и через потребление морепродуктов создают угрозу здоровью людей.

Концентрация нефтепродуктов в различных районах Мирового океана колеблется в широких пределах:

- Тихий океан (северо-западная часть) — 0–200 мкг/л;
- Атлантический океан (северо-восточная часть) — 0–160 мкг/л;
- Северное море — 0–350 мкг/л;

- Средиземное море — 0–950 мкг/л;
- Балтийское море — 0,8–8 мг/л.

В настоящее время ежегодно добывают более 3 млрд т нефти, 58 % её перевозят морским путём. В морскую среду ежегодно поступает около 3,5 млн т нефти и нефтепродуктов.

Нефть в океанической среде подвергается ряду превращений:

- 1) исчезновение легкокипящих компонентов в результате испарения;
- 2) выведение низкомолекулярных компонентов в результате растворения;
- 3) биохимическое (микробиологическое) разложение бактериями различных видов;
- 4) химическое окисление и фотоокисление.

Подсчитано, что для полного окисления 4 л сырой нефти требуется кислород, содержащийся в  $1,5 \cdot 10^6$  л морской воды, насыщенную воздухом при 60 °С; это эквивалентно количеству морской воды, содержащейся в слое глубиной 30 см и площадью  $0,5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>.

В табл. 4.9 представлены данные об основных источниках загрязнения морской среды различными нефтеуглеводородами. Более 48 % нефтепродуктов даёт танкерный флот. Поступление нефти в моря в результате аварий танкеров оценивается примерно в 0,2–0,3 млн т (около 10 % от общего поступления).

Таблица 4.9

**Поступление нефтеуглеводородов в морскую среду**

Источник загрязнения	Объём сбросов	
	млн т	%
Танкерный флот	1,46	48,3
в том числе:		
– сброс нефтесодержащих вод с балластом при мойке танкеров	0,55	18,2
– погрузочно-разгрузочные операции	0,42	13,9
– обслуживание в доках, работа двигателя, утилизация	0,19	6,2
– аварии танкеров	0,30	10,0
Остальное судоходство	0,50	16,5
Добыча нефти на шельфе	0,05	1,7
Атмосферный перенос с континентов	0,30	10,0
Речной сток	0,04	1,3
Неочищенные промышленные воды	0,20	6,6

Окончание табл. 4.9

Источник загрязнения	Объём сбросов	
	млн т	%
Прибрежная нефтеперерабатывающая промышленность	0,10	3,3
Дождевая вода с городских территорий	0,12	4,0
Естественная утечка нефти со дна	0,25	8,3
Итого	3,02	100

16 марта 1978 г. у берегов Великобритании, близ мыса Финистер, из-за неполадок в рулевом управлении налетел на скалы и разбился танкер «Амоко Кадис», принадлежавший американской компании «Амоко ойл». В море вылилось 230 тыс. т нефти, образовав гигантское нефтяное пятно размером 2 тыс. км<sup>2</sup>. Пострадало 360 км Атлантического побережья Франции. Эта крупнейшая экологическая катастрофа в Европе стала причиной гибели десятков тысяч птиц, рыб и нанесла невосполнимый ущерб Средиземному морю.

24 марта 1989 г. танкер «Экссон Валдиз» сел на мель у берегов Аляски. Вылившиеся в океан 240 тыс. баррелей нефти образовали самое большое нефтяное пятно за всю историю США. Нефть загрязнила свыше 2 600 квадратных миль морской акватории, погибли тысячи птиц и морских животных.

В январе 1991 г. в ходе войны в Персидском заливе из терминалов в Кувейте иракцами в воды залива было сброшено от 4 до 6 млн баррелей нефти, взорвано более 600 нефтяных скважин, которые долгое время горели. Потребовалось почти 240 дней и 27 специальных команд из США, России, Великобритании, Франции, Канады и ряда других стран, чтобы положить конец бедствию, которое, по оценкам учёных, грозило экологической катастрофой в планетарном масштабе.

Серьёзную проблему представляет загрязнение морских вод нефтью и нефтепродуктами. Например, в наиболее загрязнённых районах Белого моря содержание нефтепродуктов в воде достигает 2–8 ПДК. Причём загрязнена не только водная толща, но и придонные слои воды (до 7 ПДК).

*Радиоактивное загрязнение.* Основными источниками радиоактивного загрязнения Мирового океана являются загрязнения от испытаний ядерного оружия (в атмосфере до 1963 г.); загрязнения РАО, которые непосредственно сбрасываются в море; крупномасштабные

аварии (ЧАЭС, аварии судов с атомными реакторами); захоронение РАО на дне и др. (Ю. А. Израэль и др., 1994).

Захоронение жидких и твёрдых РАО в море в 1950–1960-е гг. осуществляли многие страны, имеющие морской флот. Великобритания затопляла РАО в Ирландском море, а Франция — в Северном, откуда они попадали в Баренцево море.

В 1950–1992 гг. бывшим Советским Союзом в водах Ледовитого океана были затоплены ядерные отходы суммарной активностью 2,5 млн Ки, в том числе 15 реакторов и экранная сборка атомного ледокола «Ленин», 13 реакторов аварийных атомных подводных лодок (включая шесть с невыгруженным ядерным топливом). Три реактора и экранная сборка с частично невыгруженным топливом ледокола «Ленин» были затоплены у Новой Земли.

Воды Мирового океана загрязнены наиболее опасными радионуклидами цезия-137, стронция-90, церия-144, иттрия-91, ниобия-95.

На рис. 4.6 показаны экологические последствия загрязнения Мирового океана.

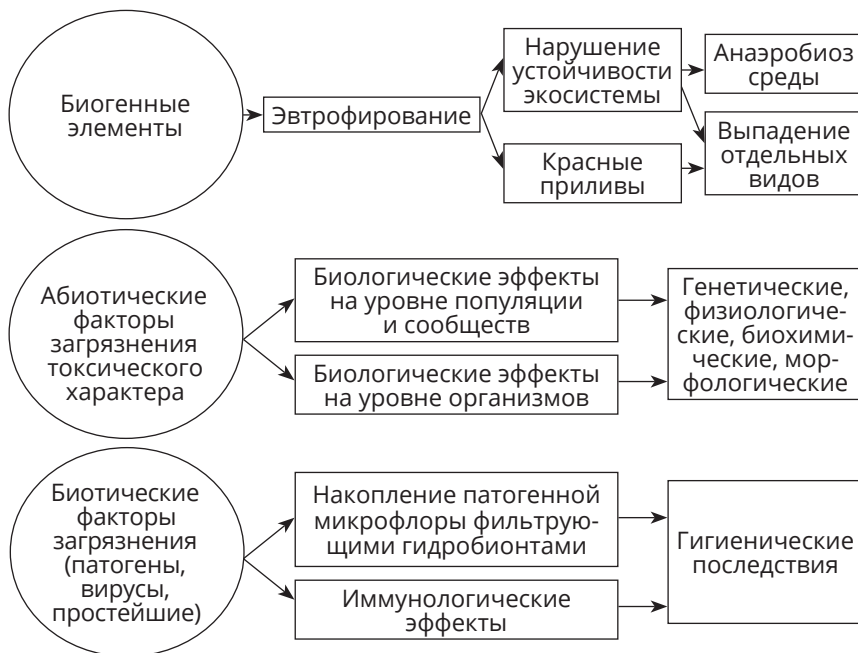


Рис. 4.6. Экологические последствия загрязнения Мирового океана



Отклики морских организмов на воздействие вредных веществ могут иметь негативные морфологические, физиологические, биохимические и этологические (поведенческие) эффекты, а при больших дозах и длительном воздействии могут привести к гибели гидробионтов.

Так, при значительной концентрации нефти в морской воде отмечается уменьшение скорости роста у мидий и двусторчатых моллюсков, снижается плодовитость, сокращается продукция фитопланктона и пр. Загрязнение морской среды хлорированными углеводородами приводит ко многим заболеваниям морских млекопитающих, а также имеет негативные морфологические последствия (опухоли, аномалии позвоночника и деформация плавников у рыб, вирусные заболевания устриц, креветок).

При интенсивном загрязнении океана наблюдаются и другие негативные явления: повышается токсичность морепродуктов, выпадают отдельные виды в экосистемах, в конечном счёте, нарушается равновесие экосистемы и снижается её продуктивность. Наибольшую угрозу представляет подавление фотосинтетической активности водной флоры, что неминуемо повлечёт за собой нарушение планетарных климатических процессов.

## Особенности антропогенного загрязнения речных вод

*Загрязнение детергентами.* К числу основных химических веществ, загрязняющих поверхностные воды, относятся *детергенты*, которые употребляются в промышленности и быту как *моющие средства и эмульгаторы*. За последние десятилетия ежегодное производство этих веществ в мире резко возросло и измеряется сейчас миллионами тонн.

Выпускаются разнообразные ПАВ для использования в различных по составу моющих средствах. Поверхностно-активные агенты подразделяют обычно на три класса: анионоактивные, катионоактивные и неионогенные. Химические формулы типичных представителей этих трёх классов приведены на рис. 4.7.

ПАВ, входящие в состав определённых моющих средств, выбирают исходя из условий использования и типа предполагаемой обработки. Гидрофильные (поглощающие воду) волокна (хлопок, шерсть, шёлк) могут совмещаться с анионоактивными ПАВ; полиамидные

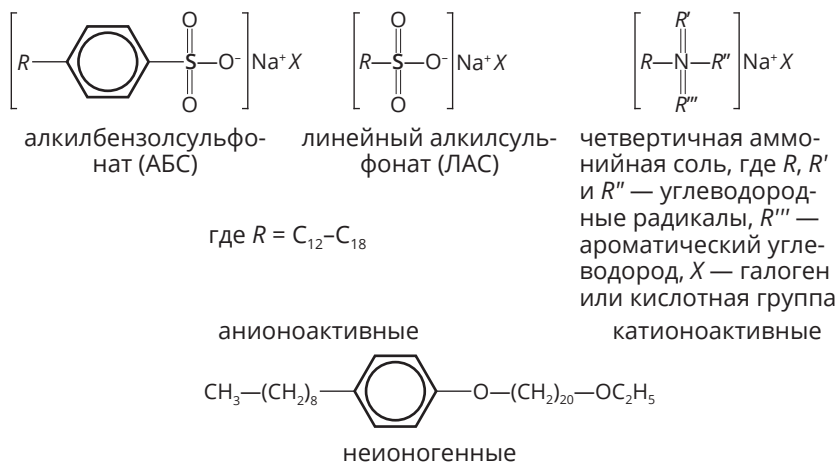


Рис. 4.7. Три класса поверхностно-активных агентов

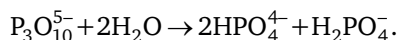
и полиэфирные волокна гидрофобны (отталкивают воду), поэтому они очищаются в присутствии неионогенных веществ.

Детергенты хорошо растворимы в водной среде и, следовательно, могут эффективно переноситься с водными массами на большие расстояния. Характерным признаком присутствия детергентов в воде является слой пены, который скапливается там, где течение реки задерживается плотинами, запрудами, шлюзами и другими перегораживающими устройствами. Способность к пенообразованию проявляется у большинства ПАВ при концентрации 1–2 мг/л и не устраняется в процессе очистки сточных вод. Поступая в водоёмы и водотоки, пена распространяется на значительные расстояния, осаждается на берегах, разносится ветром. Присутствие детергентов резко ухудшает органолептические свойства воды: при концентрациях ПАВ 1–3 мг/л вода приобретает неприятный вкус и запах, интенсивность которых зависит от химической природы детергента. Наличие в воде ПАВ снижает её способность насыщаться кислородом. На равнинных реках при их концентрации 1 мг/л интенсивность аэрации может понизиться на 60 %.

Присутствие в водоёмах ПАВ изменяет химический состав природных вод и естественный ход протекающих в них химических и биохимических процессов, угнетающе действует на биоценозы водной среды, вызывает гибель многих гидробионтов. Так, смертельная концентрация ПАВ для многих рыб составляет 3–5 мг/л, для

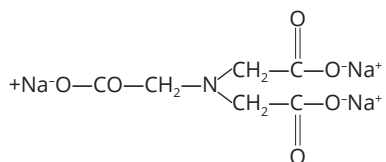
планктона — около 1 мг/л. При содержании в воде 120 мг/л детергентов анионного или 70 мг/л катионного типа резко замедляется рост водорослей. Нельзя не учитывать возможный эффект совместного действия ПАВ и других токсикантов, поступающих в природные воды, например пестицидов. Присутствие в воде и на побережьях большого количества ПАВ снижает эстетическую ценность водных объектов и возможность их использования для целей рекреации. К тому же фосфорсодержащие детергенты способствуют развитию процесса эвтрофикации водоёмов.

Фосфорные компоненты моющих средств легко гидролизуются с образованием нетоксичных монофосфатов:



Образующиеся продукты гидролиза не представляют угрозы для человека и животных, обитающих в воде. Однако необходимо учитывать эффект воздействия фосфатов на растения. Они являются питательной средой для растений и могут вызвать их интенсивный рост. В частности, разрастание водных растений создаёт весьма серьёзные проблемы. Это выражается в загрязнении ранее чистых водоёмов, где по мере отмирания растений начинается их гниение, а вода обедняется кислородом. В свою очередь, низкое содержание кислорода ухудшает условия существования и других форм жизни в воде.

С целью частичной или полной замены фосфорсодержащих связывающих агентов были исследованы тысячи компонентов. Необходимым условием является сохранение качеств, присущих фосфатам (нетоксичность, отсутствие агрессивности, коррозионного воздействия на материалы и т. д.). Наибольший интерес из всех исследованных соединений представляет натрия соль нитрилтриуксусной кислоты (НТК):



Это соединение обладает хорошими связывающими свойствами, что приближает его по свойствам к триполифосфату. Оно легко поддается биологическому разложению и относительно недорого.

Однако НТК обладает гигроскопичностью, что приводит к слёживанию в открытых упаковках. Кроме того, имеются данные, что соединение НТК—кадмий — тератогенно, поэтому применение НТК в ряде стран приостановлено. Таким образом, пока не будет получен приемлемый связывающий агент, полифосфаты будут вводиться в состав ПАВ, несмотря на влияние этих веществ на рост водных растений.

ПАВ парализует деятельность микроорганизмов, разрушающих органические вещества, при этом они плохо поддаются биохимическому разложению в водоёмах: за три недели содержание синтетических ПАВ снижается на 20–50 %, затем их разложение идёт более медленными темпами, и через шесть месяцев в воде ещё остаётся 20–45 % от исходного количества.

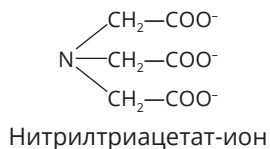
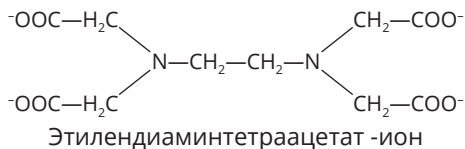
Экологическая и экотоксикологическая опасность этих веществ связана, по-видимому, с тем, что они способны воздействовать на биологические мембраны живых клеток, в частности, на их проницаемость и мембранный потенциал с далеко идущими последствиями для регуляции метаболизма.

## **Загрязнение соединениями тяжёлых металлов**

Попавшие в воду соединения ТМ сравнительно быстро распространяются по большому объёму. Частично они выпадают в осадок в виде карбонатов, сульфатов или сульфидов, частично адсорбируются на минеральных или органических осадках. Поэтому содержание ТМ в отложениях постоянно растёт. Многочисленные наблюдения показали, что содержание ТМ в донных осадках рек и морей в 1 000–10 000 раз превышает их содержание в воде.

Особенно напряжённая ситуация может возникнуть, если адсорбционная способность осадков будет исчерпана. Необходимое для этого время нельзя установить точно, однако при достижении предела адсорбционной ёмкости ТМ будут поступать в воду и начнётся вторичное загрязнение. Но ещё задолго до наступления насыщения тяжёлые металлы из отложений могут переходить в воду, оказывая негативное воздействие на окружающую среду. Частично этот процесс наблюдается в половодье, например, при таянии снегов, когда бурные потоки воды уносят донные отложения. В половодье в воде обнаружено в десять раз больше ТМ, чем в обычное время. Если рН

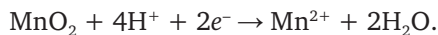
воды значительно меньше 7, то осаждаемые ТМ могут перейти в воду. Значение рН уменьшается при попадании кислот в реки и в сильно заросшие водоёмы, когда в результате активной деятельности растущих микроорганизмов выделяется особенно много  $\text{CO}_2$ . При переходе металлов в воду значительную роль играет образование хелатов с ионами этилендиаминтетраацетата и нитрилтриацетата, которые содержатся в очищающих препаратах и моющих средствах.



Наряду с этими, давно известными путями попадания в воду ТМ, обнаружены реакции, в результате которых они становятся растворимыми в воде либо в липидах (маслах и жирах), проникая затем в организм и включаясь в цикл питания.

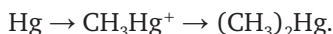
Было обнаружено, что ртуть и олово в морских анаэробных условиях, то есть в отложениях отмерших водорослей, присоединяя водород, переходят в летучие соединения. Такого рода гидрирование может осуществляться и с другими ТМ. Эти реакции показывают, что на отдельных участках моря, покрытых обильной растительностью, покров из водорослей не только угрожает морским обитателям, но и повышает «активность» ТМ, переводя их в форму летучих гидридов, в которой они покидают воду.

Марганец при окислении выпадает в виде нерастворимого  $\text{MnO}_2$ , который в анаэробных условиях, вероятно, с помощью микроорганизмов, переходит в растворимый в воде ион  $\text{Mn}^{2+}$ .



Хотя марганец и относится к числу жизненно необходимых элементов, однако лишь при следовых концентрациях в организме он может участвовать в качестве переносчика в окислительно-восстановительных реакциях. При высоких концентрациях этот элемент токсичен.

При участии микробов возможно метилирование соединений олова (IV) с образованием диметил- и триметил-оловохлоридов. Металлическая ртуть может метилироваться в две стадии:



Как ионы метилртути, так и диметилртуть сорбируются организмом.

Ещё не установлено, связано ли появление алкилсвинцовых соединений в организмах с микробиологическими процессами; его причиной может быть и тетраэтилсвинец, содержащийся в этилированном бензине, который используется в качестве автомобильного топлива.

Совсем другой путь для попадания в цепь питания обнаружен у кадмия и некоторых других ТМ. Кадмий может замещать цинк в цинксодержащих ферментах (гидроксилазах). После этого фермент становится неактивным, а организмы, в которые попал кадмий, могут служить пищей для других организмов, что приводит к внедрению элемента в общую цепь питания.

## Аральский кризис

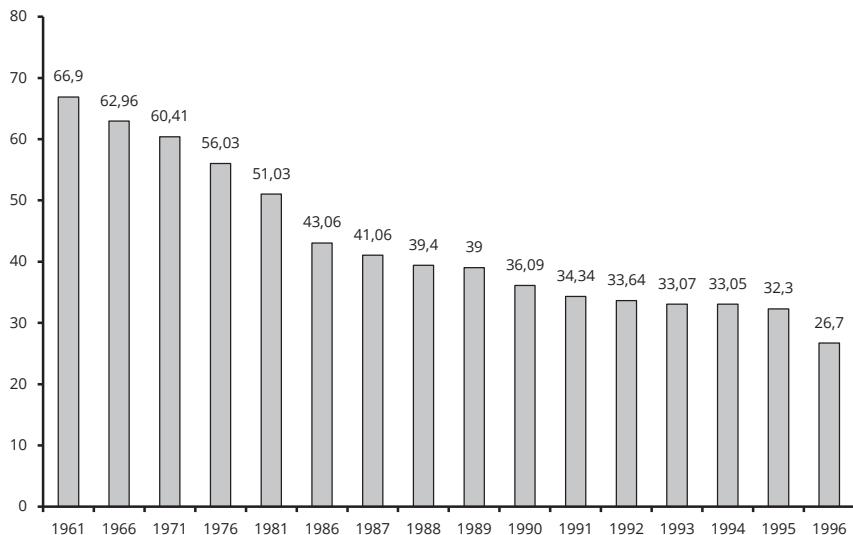
Кризисная ситуация, вызванная высыханием Аральского моря, сложилась в результате нерационального использования трансграничных вод крупнейших рек региона — Амударьи и Сырдарьи. «Отделите от морей реки, и моря высохнут», — предупреждал древнегреческий баснописец Эзоп. Люди отделили от Аральского моря реки Амударью и Сырдарью и уничтожили уникальную природную геосистему. В 1906 г. академик Л. С. Берг рассчитал, что Аральское море естественным путём прекратит своё существование через 29 100 лет, когда Амударья и Сырдарья заполнят его котловину твёрдыми минеральными частицами. Но человеку для уничтожения Арала понадобилось несколько десятилетий.

За 37 лет (1960–1997 гг.) Аральское море недополучило более 800 км<sup>3</sup> речных вод, в результате чего уровень моря снизился на 17 м, объём — на 75 %, площадь зеркала воды — наполовину, отступив от своих берегов местами на 100–120 км и оставив за собой примерно 3,5 млн га новой засоленной пустыни (рис. 4.8). Солёность в Аральском море возросла в 4 раза (рис. 4.9).

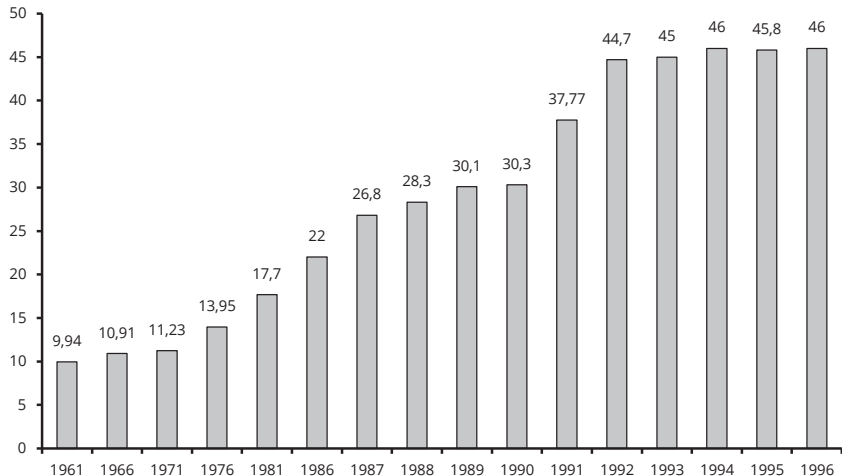
Высыхание Аральского моря привело к появлению дополнительного источника почвенно-эрозионных аэрозолей, а также к увеличению выноса пыли, содержащей достаточно высокие концентрации солевых частиц.

Вновь образовавшаяся суша засолена на 80 % сульфатно-хлоридными и хлоридно-сульфатными солями, а в отдельных местах появилось большое скопление гипса.

Концентрация ТМ, особенно в периоды пыльных бурь, заметно превышает предельно допустимые значения. Большинство из этих



**Рис. 4.8.** Изменение площади поверхности Аральского моря, тыс. м<sup>2</sup>



**Рис. 4.9.** Изменение средней солёности Аральского моря, г/л

элементов (Pb, Zn, Se, Cu, Ni, Rb) содержится в долгоживущей сред-  
недисперсной фракции аэрозолей, что усиливает их вредное дей-  
ствие на живые организмы.

Можно предполагать, что одним из источников этих элементов являются солончаки, где они находятся в составе легко диспергируемых и относительно летучих веществ. В частности, для некоторых из них известны летучие органические соединения (В. А. Исидоров, 1992), отличающиеся высокой токсичностью.

Элементный состав аэрозольных проб, взятых в приземном слое атмосферы Приаралья (южное и северо-восточное побережья Аральского моря), различен. Для аэрозольных проб вблизи границы моря (г. Муйнак) содержание почти всех элементов оказалось существенно меньше, чем в пробах почвы и аэрозолей, взятых на большом удалении от бывшей береговой черты (г. Чимбай). С удалением от моря в пробах отмечается двух-трёхкратное увеличение содержания железа, а также десятикратное увеличение содержания цезия (г. Чимбай).

Сумма ионов аэрозольных проб на порядок превосходит сумму ионов для проб грунта. При этом наблюдается перераспределение концентрации ионов для разных точек наблюдений. Так, для аэрозольных проб в Чимбае характерны повышенные концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ , тогда как для аэрозольных проб в Муйнаке —  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . Элементный состав проб аэрозоля, взятых вблизи г. Новоказалинска и г. Арал, показал, что в пробах обнаруживалось высокое содержание Ca, Pb, Cu, Ti для обоих пунктов и S, Fe, Zn, Se для Новоказалинска, находящегося на большем удалении от побережья.

Изменился и радиационный режим атмосферы Приаралья, что, в свою очередь, оказывает влияние на различные климатические характеристики региона — влажность, испаряемость воды с поверхности моря, запылённость воздуха, циркуляционный режим воздушных масс, температуру приземного воздуха. Высокая концентрация пылевых частиц, обладающих поглощающими свойствами в видимой области спектра, привела к дополнительному нагреву тропосферных слоёв.

По некоторым подсчётам, под воздействием аральской экологической катастрофы оказалось около 35 млн человек.

*Загрязнение Каспийского моря.* Особую тревогу вызывает неудовлетворительная защита нефтепромыслов от затопления Каспийским морем.

Источником углеводородных загрязнений северного Каспия также является естественное просачивание углеводородов, транспортировка нефти, промышленные сбросы нефтеперерабатывающих предприятий, утечки с прибрежных нефтяных разработок.



Загрязнение морской среды в районах нефтеразработок происходит и в результате сброса сточных вод. Так, в сточных водах буровых установок в 2000 г. обнаружено превышение ПДК<sub>р.х</sub> по нефтепродуктам до 2,6 раз, по анионам ПАВ — до 8, нитратам — от 4 до 229, аммоний — от 55 до 120, фенолам — от 7 до 430 раз; содержание нефтепродуктов в сточных и хозяйственных водах достигает 23 ПДК<sub>р.х</sub>, аммония — от 25 до 120, нитратов — от 14 до 141, фенолов — от 25 до 590 ПДК<sub>р.х</sub>.

Идёт систематическое закисление вод, ежегодно выбрасывается в атмосферу огромное количество сернистых соединений, из которых может образоваться серная кислота. Часть из них попадает в море.

## 8. Сокращение биологического разнообразия

Биоразнообразие означает разнообразие живых организмов во всех его проявлениях: от генов до биосферы. Вопросам изучения, использования и сохранения биоразнообразия стало уделяться большое внимание после подписания многими государствами Конвенции о биологическом разнообразии (Конференция ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992). Существует три основных типа биоразнообразия:

- генетическое разнообразие, отражающее внутривидовое разнообразие и обусловленное изменчивостью особей;

- видовое разнообразие, отражающее разнообразие живых организмов (растений, животных, грибов и микроорганизмов). В настоящее время описано около 1,7 млн видов, хотя их общее число, по некоторым оценкам, составляет до 50 млн;

- разнообразие экосистем, охватывающее различия между типами экосистем, разнообразием сред обитания и экологических процессов. Отмечают разнообразие экосистем не только по структурным и функциональным составляющим, но и по масштабу — от микробиогеоценоза до биосферы.

Все типы биологического разнообразия взаимосвязаны между собой: генетическое разнообразие обеспечивает разнообразие видов. Разнообразие экосистем и ландшафтов создаёт условия для образования новых видов. Повышение видового разнообразия увеличивает

общий генетический потенциал живых организмов биосферы. Каждый вид вносит свой вклад в разнообразие — с этой точки зрения не существует бесполезных и вредных видов. Распределение видов по поверхности планеты неравномерно. Разнообразие видов в естественных средах обитания максимально в тропической зоне и уменьшается с увеличением широты. Самые богатые видовым разнообразием экосистемы — дождевые тропические леса, которые занимают около 7 % поверхности планеты и содержат более 90 % всех видов живых организмов. В геологической истории Земли в биосфере постоянно происходило возникновение и исчезновение видов — все виды имеют конечное время существования. Вымирание компенсировалось появлением новых видов, в результате чего общее число видов в биосфере возрастало. Вымирание видов — естественный процесс эволюции, который происходит без вмешательства человека. В настоящее время под воздействием антропогенных факторов происходит сокращение биологического разнообразия за счёт элиминации (вымирания, уничтожения) видов. В последнее столетие под влиянием человеческой деятельности скорость вымирания видов во много раз превысила естественную (по некоторым оценкам в 40 000 раз). Происходит необратимое и некомпенсированное разрушение уникального генофонда планеты. В настоящее время идентифицировано около 1,5 млн видов растений и животных. За последние 400 лет исчезли 83 вида млекопитающих, 128 видов птиц, 21 — пресмыкающихся, 5 — земноводных, 81 — моллюсков, 8 — ракообразных, 72 — насекомых. Под угрозой уничтожения находятся 1 130 видов млекопитающих, 1 183 — птиц, 296 — пресмыкающихся, 146 — земноводных, 751 — рыб, 938 — моллюсков, 408 — ракообразных, 555 — насекомых. В ближайшие 20–30 лет под угрозой исчезновения будет находиться ~25 % всех видов Земли.

Элиминация видов в результате деятельности человека может происходить по двум направлениям — прямое истребление (охота, промысел) и косвенное (разрушение среды обитания, нарушение трофических взаимодействий). Чрезмерный промысел — наиболее очевидная прямая причина прямого сокращения численности видов, однако он гораздо меньше влияет на вымирание, чем косвенные причины изменения среды обитания (например, вследствие химического загрязнения реки или вырубки леса).

Основные причины утраты биологического разнообразия:

— уничтожение или нарушение среды обитания (строительство городов, сведение лесов, осушение болот, создание водохранилищ и т. д.);

- промысловая охота;
- интродукция чуждых видов — введение организмов в местность, где они раньше не встречались, и акклиматизация — следующий этап, приспособление организмов к новой окружающей среде. Чуждые растения и животные в новых местах обитания, не имея врагов, способствуют полному исчезновению или вытеснению местных видов;
- прямое уничтожение с целью защиты сельскохозяйственной продукции;
- случайное (непреднамеренное) уничтожение (на автомобильных дорогах, в ходе военных действий, на ЛЭП и др.);
- загрязнение окружающей среды.

Для учёта видов, находящихся на грани вымирания, во многих странах создаются Красные книги — списки редких и исчезающих видов живых организмов. Для сохранения и поддержания биологического разнообразия создаются особо охраняемые природные территории — ООПТ (заповедники, национальные парки и др.), генетические банки данных. Сохранение отдельного вида возможно лишь при условии охраны его среды обитания со всем комплексом входящих в неё видов, климатических, геофизических и других условий. Особую роль играет при этом сохранение средообразующих видов (видов-эдификаторов), которые формируют внутреннюю среду экосистемы. Создание ООПТ направлено на охрану не только отдельных видов, но и целых комплексов и ландшафтов. Причин необходимости сохранения биоразнообразия много: потребность в биологических ресурсах для удовлетворения нужд человечества (пища, материалы, лекарства и др.), этический и эстетический аспекты (жизнь самоценна) и т. д. Однако главная причина сохранения биоразнообразия состоит в том, что оно выполняет ведущую роль в обеспечении устойчивости экосистем и биосферы в целом (поглощение загрязнений, стабилизация климата, обеспечение пригодных для жизни условий). Биоразнообразие выполняет регулирующую функцию в осуществлении всех биогеохимических, климатических и других процессов на Земле. Каждый вид, каким бы незначительным он ни казался, вносит свой вклад в обеспечение устойчивости не только «родной» локальной экосистемы, но и биосферы в целом.

Леса играют важную роль в глобальных круговоротах углерода и кислорода, регулируют сток вод, предотвращают эрозию почв, служат местообитанием большого числа диких растений и животных. Площадь лесов в мире ежегодно уменьшается на 20 млн га, или

на 0,5 %. Главные причины сведения лесов: освоение новых территорий под сельское хозяйство; получение древесины для строительства, деревообрабатывающей, бумажной промышленности; получение топлива; лесные пожары).

## 9. Деградация почв

*Деградация почвы* — это постепенное ухудшение её свойств, которое сопровождается уменьшением содержания гумуса и снижением плодородия. Отчуждая с полей основной (зерно, корнеплоды, овощи и др.) и побочный урожай (солома, листья, ботва), человек размыкает полностью или частично биологический круговорот веществ, нарушает способность почвы к саморегуляции и снижает её плодородие. Эти процессы ведут к дегумификации — потере гумуса. За последнее столетие почвы Черноземья потеряли от трети до половины содержания гумуса. Но даже частичная потеря гумуса и, как следствие, снижение плодородия не дают почве возможность выполнить в полной мере свои экологические функции, и она начинает деградировать, то есть ухудшать свои свойства. К деградации почв (земель) ведут и другие причины, преимущественно антропогенного характера: эрозия, загрязнение, вторичное засоление, заболачивание, опустынивание. В наибольшей степени деградируют почвы агроэкосистем, причина неустойчивого состояния которых — в упрощённом фитоценозе, не обеспечивающем оптимальную саморегуляцию.

*Эрозия.* В России водной эрозии подвержен 31 % суши, а ветровая эрозия (дефляция) активно действует на 34 % поверхности страны. В засушливых районах мира эродировано до 60 % от общей площади, из них 20 % — сильно эродированы. В периоды пыльных бурь за несколько часов с 1 га поверхности развевается до 500 т почвы. Глубина выдувания (толщина снесённого слоя почвы) — 10–12 см, иногда до 25 см. Повреждаются посевы, засыпаются оросительные каналы и естественные водоёмы.

*Загрязнение.* Большие концентрации в почве различных химических соединений — токсикантов пагубно влияют на жизнедеятельность почвенных организмов и чреваты тяжёлыми последствиями для человека, растительности и животного мира. Например, в сильно загрязнённых почвах возбудители тифа и паратифа могут

сохраняться до полутора лет, тогда как в незагрязнённых — лишь в течение двух-трёх суток. Основные загрязнители почвы: пестициды (ядохимикаты — в первую очередь стойкие хлорорганические соединения), минеральные удобрения, отходы производства и потребления, газодымовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, нефть и нефтепродукты.

**Вторичное засоление и заболачивание.** При неумеренном поливе орошаемых земель в засушливых районах возникает вторичное засоление, а в районах с сильным переувлажнением, например в Нечернозёмной зоне России, заболачивание почв. Во всём мире процесс вторичного засоления и осолонцевания подвержено около 30 %, а в России 18 % общей площади орошаемых земель. Заболачивание сопровождается деградационными процессами в биоценозах, накоплением на поверхности неразложившихся остатков. Заболачивание ухудшает агрономические свойства почв и снижает производительность лесов.

**Опустынивание** — процесс необратимого изменения почвы и растительности и снижение биологической продуктивности, который в экстремальных случаях может привести к полному разрушению биосферного потенциала и превращению территории в пустыню. Всего в мире опустыниванию подвержено более 1 млрд га практически на всех континентах. Сегодня оно угрожает примерно 3,2 га земель, на которых проживают более 700 млн человек (Калмыкия, Приаралье, Прибалхашье, Астраханская область, но главное — Африка в зоне Сахеля — полоса шириной до 400 км между Сахарой на севере и саванной на юге). Как правило, к опустыниванию приводит сочетание нескольких факторов, совместное действие которых резко ухудшает экологическую ситуацию. Обеспеченность человечества земельными ресурсами определяется мировым земельным фондом, составляющим 13,1 млрд га. Обрабатываемые земли дают человечеству 88 % необходимых продуктов питания. Луга и пастбищные земли обеспечивают 10 % пищи, потребляемой человечеством, 2 % — ресурсы Мирового океана.

## 10. Возможность исчерпания запасов минерально-сырьевых ресурсов. Динамика потребления минерального сырья

Рост производства в мире сопровождается значительным увеличением потребления большинства видов сырья. Ежегодно из недр изымается более 100 млрд т минерального сырья и каустобиолитов. При этом наблюдается интенсивное ускорение роста объёма добычи полезных ископаемых. Так, только за 30 послевоенных лет минерального сырья в мире было использовано примерно столько же, сколько за всю предыдущую историю человечества. В промышленно развитых странах в этот период при общем увеличении промышленного производства в 3,5 раза объём среднегодового потребления металлов возрос примерно втрое, горно-химического сырья — в 3,5 раза, первичных источников энергии (нефти, газа, угля, урана) — в 2,6 раза. Рост объёмов потребления не может не усиливать давления на ресурсный потенциал планеты, что объективно действует в сторону обострения проблем ресурсопользования. В связи с этим одним из важных является вопрос о том, насколько велики ресурсы Земли. О том, что минеральные ресурсы Земли не безграничны, известно давно. Отличительная их черта заключается в том, что они конечны и их предельная величина определяется общим содержанием того или иного элемента в земной коре и в Мировом океане.

Таким образом, теоретически существует возможность физического истощения минеральных ресурсов при их длительной и интенсивной разработке. Так, отношение общей величины промышленных запасов к среднегодовому уровню добычи соответствующего вида сырья в мире на середину 1990-х гг. составляло по железной руде примерно 190 лет, никелю — 76, алюминию — 280, меди — 60, углю, природному газу и нефти — соответственно 600, 54 и 45 лет. С учётом увеличивающегося роста добычи кратность запасов этой категории существенно меньше. Для России минеральные ресурсы являются важнейшим условием развития экономики, обеспечения экономической и оборонной безопасности страны, источником пополнения бюджета, в том числе поступления валютных средств. Созданная в стране минерально-сырьевая база играет важную роль в минерально-сырьевом комплексе мира. В России открыто и разведано около 20 тыс. месторождений полезных ископаемых, из кото-

рых более  $\frac{1}{3}$  введены в промышленное освоение. Крупные и уникальные месторождения (около 5 %) содержат почти 70 % запасов и обеспечивают 50 % добычи минерального сырья. По объёму разведанных запасов газа Россия занимает первое место в мире, угля — второе, нефти — шестое, никеля, платиноидов и платины, алмазов, ряда других полезных ископаемых — первое–третье место в мире. Имеются крупные запасы апатитов, калийных солей, плавикового шпата и других неметаллических минеральных ресурсов. По некоторым оценкам, извлекаемая ценность разведанных и оценённых запасов основных групп полезных ископаемых в ценах мирового рынка составляет около 19 трлн долл. Из них около трёх четвертей приходится на нефть, газ и уголь.

В России добывается более 17 % мировой нефти, до 25 % природного газа, 15 % каменного угля. Главная проблема при их добыче — неполное извлечение из недр: нефть из скважины выкачивают в лучшем случае на 70 %, каменный уголь — не более чем на 80 %. Это потери при добыче. Далее следуют не менее крупные потери при переработке. Необходимо создание и внедрение новых технологий, позволяющих повысить долю извлечённой нефти, угля, руд металлов. Естественно, на это нужны немалые средства. В нашей стране множится число «неперспективных» затопленных шахт, которые при умелой эксплуатации вполне могли бы ещё давать продукцию; брошенных в тундре нефтяных скважин и буровых.

К задаче более полного извлечения из недр примыкает и другая — комплексное использование минерального сырья. Как правило, ни один металл не встречается в природе в одиночку. Анализ некоторых руд Урала показал, что кроме основного добываемого металла (например, меди), в них содержится большое количество редких и рассеянных элементов, и их стоимость часто превышает стоимость основного материала. Тем не менее это ценное сырьё очень часто остаётся в отвалах из-за отсутствия технологии его извлечения.

Следующая экологическая проблема горнопромышленного комплекса состоит в том, что он превратился в один из самых крупных источников загрязнения и нарушения окружающей среды. В местах добычи полезных ископаемых, как правило, страдают леса, травяной покров, почва. Если добыча осуществляется в тундре (а большинство наших подземных богатств находится в высокоширотных районах), то природа вынуждена десятилетиями залечивать полученные от людей раны. Биосоциальная природа человека отражается в том,

что его жизнь определяется единой системой условий, в которую входят как биологические, так и социальные элементы. Основные виды воздействия человека на окружающую среду могут быть выделены по характеру воздействия (привнесение вещества, энергии, новых видов, изъятие из природной среды, перераспределение и рассеивание), времени, масштабу, интенсивности воздействия, способу (механизму) воздействия (физическое, механическое, химическое, биологическое), элементу среды, подвергающемуся воздействию (гидросфера, атмосфера, почва и др.). Можно также выделить прямое и косвенное воздействие.

Результатом хозяйственной деятельности человека является явление (формирование) антропогенных экосистем: агроэкосистемы, аквакультуры, индустриально-городские экосистемы.

**Природные ресурсы (естественные ресурсы)** — часть всей совокупности природных условий существования человечества, важнейшие компоненты окружающей среды, используемые в процессе общественного производства для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. Природные ресурсы — это те разнообразные средства для существования людей, которые они находят в природе. Это и плодородные почвы, и леса, и подземные и поверхностные воды и минеральные полезные ископаемые. К ним относят также климатические природные ресурсы — энергию Солнца, ветра, атмосферный воздух и др. ресурсы, не идущие ни на строительство, ни в пищу людей, но без которых жизнь человека невозможна. Ограниченность и исчерпаемость большинства природных ресурсов является одним из важнейших лимитирующих факторов выживания человека как биологического вида.

**Классификация природных ресурсов.** Существуют различные классификации природных ресурсов, в основу которых положены природные или экономические критерии. Часто используют классификацию, в которой природные ресурсы делятся по использованию в производстве: земельный фонд — сельскохозяйственные земли, земли населённых пунктов, земли несельскохозяйственного назначения (промышленности, транспорта). Мировой земельный фонд — 13,4 млрд га; лесной фонд — земли, на которых произрастают или могут произрастать леса, это часть биологических ресурсов. Водные ресурсы — подземные и поверхностные воды, которые могут быть использованы для различных целей в хозяйстве, гидроэнергетические ресурсы — реки, приливно-отливная деятельность океана. Ресурсы фауны — количество обитателей, которые может



использовать человек, не нарушая экологического равновесия. Полезные ископаемые (рудные, нерудные, топливно-энергетические ресурсы) — природное скопление минералов в земной коре, которое может быть использовано в хозяйстве.

Для организации рационального природопользования важное значение имеет классификация природных ресурсов по возможности их истощения. Согласно данной классификации природные ресурсы делятся на *исчерпаемые* и *неисчерпаемые*.

Среди исчерпаемых природных ресурсов выделяют:

— *невозобновляемые* — большинство видов минерального сырья, исчезнувшие виды животных и растений;

— *относительно возобновляемые* — почвы, деревья больших возрастов;

— *возобновляемые* — растительность, животный мир, некоторые виды полезных ископаемых.

К группе неисчерпаемых природных ресурсов также относятся:

— космические: солнечная радиация, морские приливы;

— климатические — атмосферный воздух, энергия ветра и др.;

— водные — мировой океан, гидросфера Земли в целом.

Некоторые неисчерпаемые в глобальном смысле природные ресурсы (вода, атмосферный воздух) могут быть недоступными (или непригодными) для использования человеком на локальных (иногда довольно значительных по площади) территориях. Кроме того, природные ресурсы могут быть разделены на *заменяемые* (источники энергии, минеральное сырьё и др.) и *незаменяемые* — атмосферный воздух определённого состава, вода питьевого качества, генетические ресурсы растительного и животного мира.

## 11. Принципы охраны окружающей среды и рационального природопользования

Дальнейшее существование человечества невозможно без принятия мер по охране окружающей среды, включающих как мероприятия по улучшению экологической ситуации на локальном уровне, так и скоординированных мер по сохранению глобальной экосистемы

Земли — биосферы. Основные принципы охраны окружающей среды в России закреплены в Федеральном законе «Об охране окружающей среды». В частности законом установлено, что хозяйственная и иная деятельность, оказывающая воздействие на окружающую среду, должна осуществляться на основе:

- научно обоснованного сочетания экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды;

- охраны, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов как необходимых условий обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности;

- платности природопользования и возмещения вреда окружающей среде;

- презумпции экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности;

- обязательности оценки воздействия на окружающую среду при принятии решений об осуществлении хозяйственной и иной деятельности;

- обязательности проведения проверки проектов и иной документации, обосновывающих хозяйственную и иную деятельность, которая может оказать негативное воздействие на окружающую среду, создать угрозу жизни, здоровью и имуществу граждан, на соответствие требованиям технических регламентов в области охраны окружающей среды;

- учёта природных и социально-экономических особенностей территорий при планировании и осуществлении хозяйственной и иной деятельности;

- приоритета сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов;

- допустимости воздействия хозяйственной и иной деятельности на природную среду исходя из требований в области охраны окружающей среды;

- обеспечения снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды, которого можно достигнуть на основе использования наилучших существующих технологий с учётом экономических и социальных факторов;

- сохранения биологического разнообразия;

– запрещения хозяйственной и иной деятельности, последствия воздействия которой непредсказуемы для окружающей среды, а также реализации проектов, которые могут привести к деградации естественных экологических систем, изменению и (или) уничтожению генетического фонда растений, животных и других организмов, истощению природных ресурсов и иным негативным изменениям окружающей среды;

– ответственности за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды;

– организации и развития системы экологического образования, воспитания и формирования экологической культуры;

– международного сотрудничества Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

Одной из важнейших становится задача сохранения на длительную перспективу природных ресурсов в необходимых объёмах и соответствующего качества. Для достижения этой цели разработаны и должны быть реализованы принципы рационального природопользования.

**Природопользование** — общественно-производственная деятельность, направленная на удовлетворение материальных и культурных потребностей общества путём использования различных видов природных ресурсов и природных условий. Интенсивная эксплуатация природных богатств привела к необходимости нового вида природоохранной деятельности — рационального использования природных ресурсов. Можно сформулировать ряд общих принципов рационального природопользования.

*Принцип системного подхода*, который предусматривает комплексную всестороннюю оценку воздействия производства на среду и её ответных реакций.

*Принцип оптимизации природопользования* заключается в принятии наиболее целесообразных решений в использовании природных ресурсов и природных систем на основе одновременного экологического и экономического подхода, прогноза развития различных отраслей и географических регионов.

*Принцип снижения количества образующихся отходов* в процессе производства, то есть на более полном использовании одного и того же количества исходного 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 непрерывным сбором информации о состоянии окружающей среды с помощью наблюдений за её изменениями, вызванными антропогенными причинами, что позволяет прогнозировать их развитие. Такие системы носят название мониторинга.

*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.

## 12. Урбанизация и её влияние на биосферу

С точки зрения социологии *урбанизация* — это усиление позиции городских населённых пунктов со всех сторон, начиная от численности и заканчивая культурой и развитием общества. Этому процессу подвержены большинство государств мира. Связано это с непрерывным технологическим ростом, а также со стремлением молодёжи покинуть депрессивные регионы<sup>1</sup>.

*Урбанизация* (от лат. *urbanus* — городской) — процесс повышения роли городов, городской культуры и «городских отношений» в развитии общества, увеличение численности городского населения по сравнению с сельским.

Ситуация и проблемы урбанизации в России выглядят достаточно интересно и разнообразно. В период после Великой Отечественной войны толчком к урбанизации стала переброска многих промышленных предприятий за Урал. Но потом, в период после развала СССР, стала наблюдаться дезурбанизация. Люди из-за тяжёлой экономической ситуации старались максимально переехать на дачные участки. В дальнейшем, после определённой нормализации ситуа-

---

<sup>1</sup> Урбанизация в России // Статистика и показатели. — URL: <https://rosinfostat.ru/urbanizatsiya-v-rossii/#i>

ции в современной России, стала наблюдаться гипертрофия столичного Московского региона (табл. 4.10). Его рост всё время набирает обороты, особенно если сравнивать ситуацию с ситуацией на других территориях страны.

Таблица 4.10

### Степень урбанизации на территории России

№ п/п	Субъект Федерации	Доля городского населения, %
1	Санкт-Петербург	100,0
2	Москва	98,7
3	Магаданская область	95,9
4	Севастополь	93,0
5	Ханты-Мансийский автономный округ	92,3
6	Мурманская область	92,3
7	Кемеровская область	86,0
8	Свердловская область	84,8
9	Ямало-Ненецкий автономный округ	83,8
10	Челябинская область	82,7
11	Хабаровский край	82,1
12	Сахалинская область	82,0
13	Ярославская область	81,8
14	Московская область	81,6
15	Ивановская область	81,5
16	Карелия	80,4
17	Самарская область	80,0
18	Нижегородская область	79,5
19	Новосибирская область	79,0
20	Иркутская область	78,8

Рассматривая уровень урбанизации России, необходимо отметить, что за последние 10 лет эти показатели колеблются около отметки 70 %. Именно такое количество жителей зарегистрировано в городах разной численности и посёлках городского типа. Но одного этого числа будет недостаточно. Ведь есть определённые характеристики особенностей миграционного движения населения России. Мало того, что плотность в Центральном районе гораздо выше, чем в северных регионах. Самый высокий и самый низкий уровень

урбанизации распределён также с учётом регионального фактора по России. Обусловлено это несколькими моментами и особенностями:

- сложными климатическими условиями в некоторых регионах страны;
- неравномерностью инфраструктуры и других различных благ;
- культурными особенностями.

Наибольшая концентрация населения в городах наблюдается на европейском юге и севере России, а также в Западном экономическом районе. Именно здесь уровни этого показателя наиболее высоки.

Минимальная численность городского населения наблюдается в Крыму и республиках Кавказа. Связано это в первую очередь с определёнными культурными особенностями.

## Урбанизация по годам

На основе данных Росстата в Российской Федерации уровень урбанизации начиная с 2013 г. выглядит следующим образом:

2013 — 74,0 %;

2014 — 74,2 %;

2015 — 74,0 %;

2016 — 74,09 %;

2017 — 74,30 %;

2018 — 74,40 %;

2019 — 74,59 %.

Как видно, этот показатель изменяется в сторону увеличения, хотя темпы довольно малы.

Следует отметить, что при отсутствии каких-либо глобальных потрясений, как политической ситуации в стране, так и экономических факторов, ни в какой другой стране мира эти показатели в процентах или абсолютных численных значениях не изменяются достаточно быстро. Даже там, где достаточно высокий уровень урбанизации, резких скачков не наблюдалось на небольшом временном интервале.

## Урбанизация по городам и регионам России

Если рассматривать уровень урбанизации в регионах страны, то ситуация в 2019 г. выглядела таким образом, по данным Росстата (рис. 4.10):



Рис. 4.10. Урбанизация по округам в России, %

Если проводить непосредственно анализ городов, то ситуация будет следующей: Санкт-Петербург — 100 %; Москва — 98,7 %; Севастополь — 93 %. Среди остальных регионов максимальный уровень урбанизации отмечен в Магаданской области — 96,1 %, Ханты-Мансийском АО — 92,6 %, Мурманской области — 92,1 %. Самая низкая доля городских жителей среди российских субъектов в Республике Алтай — 29,2 % и Чеченской Республике — 38,0 %.

В России наблюдается достаточно высокая степень концентрации людей в крупных городах, например, в 2021 г. в стране было 15 городов-миллионеров, где проживало свыше 33,662 млн жителей (23 % населения страны).

В большинстве регионов страны с 2015 г. уровень урбанизации незначительно вырос (значительный рост зафиксирован только в Республике Ингушетия — с 40,7 до 55,7 %), а снижение данного показателя отмечено только в 9 субъектах (например, в Иркутской и Самарской областях) (рис. 4.11).

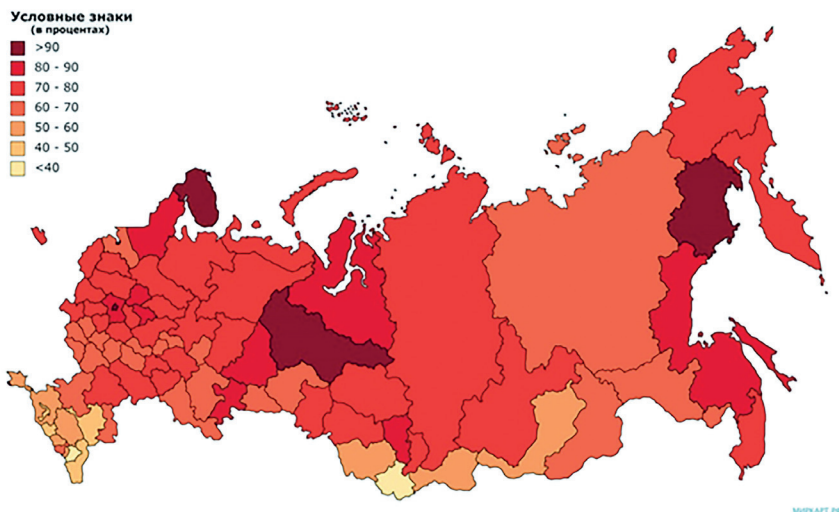


Рис. 4.11. Уровень урбанизации в России

Уровень урбанизации в России на 1 января 2021 г. составил 74,7 %, то есть в городах проживали 109,25 млн чел. Между разными федеральными округами и отдельными регионами существуют большие различия по доле городских жителей в населении. Динамика изменения численности населения России по годам представлена в табл. 4.11. Данные приведены: 1926 г. — по переписи на 17 декабря, 1939 г. — по переписи на 17 января, 1970 г. — по переписи на 15 января, 2010 г. — по переписи на 14 октября, за остальные годы — оценка на 1 января соответствующего года. 1897, 1926, 1939 гг. — наличное население, за последующие годы — постоянное население.

В табл. 4.11 представлена численность населения в границах современной России:

1897 г.: 45 центральных, сибирских и северокавказских губерний, за исключением среднеазиатских, закавказских, польских, прибалтийских, малороссийских, белорусских и новороссийских (включая Крым);

1926 г.: границы РСФСР (за вычетом Казахской, Киргизской и Крымской АССР) и Тувы;

1939 г.: границы РСФСР (за вычетом Крымской АССР) и Тувы;

1970 г.: границы РСФСР;

2015 г.: с учётом Крыма.



Таблица 4.11

**Динамика изменения численности населения России по годам\***

Год	Население	Прирост	%
2021	146 171 015	-577 575	-0,39
2020	146 748 590	481 302	0,33
2015	146 267 288	3 410 752	2,39
2010	142 856 536	-4 033 592	-2,75
2000	146 890 128	-774 953	-0,52
1990	147 665 081	9 538 481	6,91
1980	138 126 600	8 047 390	6,19
1970	130 079 210	11 033 410	9,27
1960	119 045 800	16 978 800	16,63
1950	102 067 000	-6 310 000	-5,82
1939	108 377 000	7 485 756	7,42
1926	100 891 244	33 418 244	49,53
1897	67 473 000	-	-

\*Население России: численность, динамика, статистика // Statdata.ru — Сайт о странах и городах. URL: <http://www.statdata.ru/russia>

## Сравнение урбанизации в России с другими странами

По степени урбанизации лидируют следующие страны:

— Гонконг, Кувейт, Монако, Науру, Сингапур — 100 %;

— Катар — 99,1 %;

— Бельгия — 98 %;

— Сан-Марино, Уругвай, Мальта, Исландия, Израиль, Аргентина, Япония, Нидерланды, Иордании, Люксембург — 97–91 %;

— Габон, Бахрейн, Венесуэла, Андорра, Дания, Чили, Швеция, Бразилия, Новая Зеландия, Объединённые Арабские Эмираты, Австралия, Финляндия, Оман, Саудовская Аравия, Великобритания, США, Норвегия, Южная Корея, Канада, Доминикана, Колумбия, Мексика, Ливия, Франция, Испания — 89,4–80,0 %;

— на 48-м месте Белоруссия — 78,6 %;

— на 60-м месте Россия — 74,4 %;

— на 70-м месте Украина — 69,4 %, за ней идёт Эстония.

Наименее урбанизированными являются преимущественно отстающие страны Азиатско-Тихоокеанского региона и Экваториальной Африки, например, такие как Руанда, Самоа, Бурунди, Нигер,

Новая Гвинея, Непал, Сент-Люсия. Уровень городского населения здесь составляет не более 20 % (табл. 4.12).

Таблица 4.12

**Уровень городского населения в странах мира**

Рейтинг	Страна	Доля городского населения, %
1	Гонконг	100,0
2	Кувейт	100,0
3	Монако	100,0
4	Науру	100,0
5	Сингапур	100,0
6	Катар	99,1
7	Бельгия	98,0
8	Сан-Марино	97,2
9	Уругвай	95,3
10	Мальта	94,6
11	Исландия	93,8
12	Израиль	92,4
13	Аргентина	91,9
14	Япония	91,6
15	Нидерланды	91,5
16	Иордания	91,0
17	Люксембург	91,0
18	Габон	89,4
19	Бахрейн	89,3
20	Ливан	88,6
21	Венесуэла	88,2
22	Андорра	88,1
23	Дания	87,9
24	Чили	87,6
25	Швеция	87,4
26	Бразилия	86,6
27	Новая Зеландия	86,5
28	ОАЭ	86,5
29	Австралия	86,0
30	Финляндия	85,4
31	Оман	84,5
32	Саудовская Аравия	83,8
33	Великобритания	83,4
34	Багамские Острова	83,0
35	США	82,3
36	Норвегия	82,2

Окончание табл. 4.12

Рейтинг	Страна	Доля городского населения, %
37	Южная Корея	81,5
38	Канада	81,4
39	Доминикана	81,1
40	Колумбия	80,8
41	Франция	80,4
42	Испания	80,3
43	Мексика	80,2
44	Ливия	80,1
45	Палау	79,9
46	Коста-Рика	79,3
47	Греция	79,1
48	Беларусь	78,6

Вывод: большее количество населения живёт в городах в тех странах, где наблюдается высокий технологический уровень развития или площадь страны не позволяет развивать сельское хозяйство на довольно интенсивном уровне. Так, например, для Японии эти два фактора сложились в одно весомое целое. По этой причине большинство японцев живёт исключительно в городских агломерациях.

Что же касается государств с минимальными показателями, то здесь всё объясняется достаточно просто — это отсутствие крупных городских центров, которые способны дать работу населению, в результате чего люди вынуждены заниматься любым видом сельскохозяйственных работ, чтобы вырастить для себя продукты питания.

Проводя анализ, можно сказать, что наиболее благополучными выглядят страны, где эта цифра колеблется в интервале 70–90 %. Именно здесь имеются высокотехнологичные города, которые позволяют развивать общество, и в то же время присутствуют сельские населённые пункты, которые продолжают развивать сельское хозяйство или фермерство.

С точки зрения экологии, *урбанизация* — возникновение и рост городов, сооружение различных промышленных комплексов, горных выработок, дорог и других промышленных объектов, изменяющих природные ландшафты и оказывающих в отдельных районах значительное влияние на все элементы водного баланса, гидрологический режим и окружающую среду в целом. Урбанизация территории оказывает с каждым годом всё большее влияние на окружающую сре-

ду; сток с городских территорий в количественном и качественном отношении резко отличается от стока с естественных водосборов. Степень влияния урбанизации на водные ресурсы регионов и режим речного стока прежде всего зависят от площадей, которые отводят под строения, дороги, карьеры, линии электропередачи и связи и другие объекты. Изменение площади урбанизованных территорий весьма различно в разных странах, однако общая тенденция в мире — их непрерывный рост. В 1970-е гг. площадь урбанизованной территории на Земле составляла 2 % площади суши, или 13 % всей интенсивно используемой территории.

К настоящему времени эти показатели увеличились примерно в два раза. Городские территории сегодня — место проживания 47 % населения мира. В 2050 г. в городах будет жить 65 % всего населения. Впечатляют темпы урбанизации в развивающихся странах — от 27 в 1975 г. до 40 % в 2000 г., что в абсолютном выражении составило более 1 200 млн человек. Население мира за 1972–2002 гг. увеличилось на 2,25 млрд и составляет 6,1 млрд человек. На начало 2023 г. численность населения Земли приближается к 8 млрд.

Несмотря на значительный рост абсолютных показателей, темпы прироста населения продолжают снижаться. Например, за 10 лет с 1990 г. население мира выросло на 16 %, за 2000–2010 гг. — на 14 %, а с 2010 до 2020 г. — уже только на 12 %.

При текущих темпах роста численности населения количество людей на планете в 2038 г. составит 9 млрд, а в 2059 г. — 10 млрд.

В самых населённых и экономически развитых странах мира города занимают уже до 10 % территории, образуя мегаполисы. Площади, занимаемые некоторыми крупнейшими городами мира, достигают 1 000 км<sup>2</sup> и более, например, площадь Токио с пригородами 2 140 км<sup>2</sup>, Нью-Йорк, Лондон, Рио-де-Жанейро имеют площадь более 1 000 км<sup>2</sup>, Москва — 900 км<sup>2</sup>.

Очевидно, что урбанизованные территории вряд ли могут оказывать заметное влияние на изменение количественных характеристик речного стока и водных ресурсов больших речных бассейнов и крупных природно-экономических регионов мира. Однако речной сток средних речных бассейнов и малых водосборов может претерпевать весьма существенные изменения под влиянием урбанизации.

Основными факторами, определяющими изменения гидрологического режима малых водных объектов на урбанизованной территории, являются:

- создание нового антропогенного ландшафта с городской и промышленной застройкой, с преобразованными водными объектами, искусственными природными комплексами и зонами отдыха;

- наличие различных водонепроницаемых или малопроницаемых участков, занятых зданиями, промышленными и хозяйственными строениями, твёрдыми покрытиями и дорогами, уменьшающими инфильтрацию и нарушающими естественную связь поверхностных и подземных вод;

- преобразование естественной гидрографической сети и создание дренажных и канализационных систем, способствующих быстрому сбросу дождевых и талых вод;

- вовлечение в использование на урбанизированной территории воды из-за пределов местных водосборов и из глубоких подземных горизонтов;

- нарушение естественного теплового и ветрового режима, а также загрязнение воздушного бассейна, приводящих к изменению температуры воздуха, осадков и испарения;

- нарушение связи между поверхностными и подземными водами и развитие депрессионных воронок подземных вод в результате их интенсивного отбора.

Развитие промышленности и рост городского населения оказывают весьма многообразное, комплексное влияние на водные ресурсы, гидрологический режим и особенно качество природных вод.

## Проблемы

Важно понимать, что ещё около 150 лет назад в городах проживало около 30 % населения теперь уже развитых стран. Проблемы, которые захватывают такие типы сообществ, представлены следующими негативными моментами:

- транспортный коллапс;

- ухудшение экологической ситуации;

- трудности водоснабжения;

- психологическая нагрузка на человека в связи с повышенным темпом жизни и невозможностью провести время на природе.

Но, несмотря на это, качество жизни выше именно в крупных населённых пунктах.

## 13. Сохранение генофонда населения и планеты

**Генофонд** (от ген и фр. *fond* — основание) — совокупность генов, которые имеются у особей данной популяции, группы популяций или вида. Основой генетической целостности популяции является наличие полового процесса, обеспечивающего возможность постоянного обмена внутри её наследственным материалом. В результате формируется единый генофонд популяции, куда в каждом поколении особями разного генотипа вносится больший или меньший вклад, в зависимости от их приспособительной ценности. Важнейшая особенность единого генофонда — его глубокая дифференцированность, неоднородность.

Генофонд обычно определяют как совокупность генов, имеющих у особей данной популяции, группы популяций или вида, в пределах которых они характеризуются определённой частотой встречаемости.

О воздействии на генофонд чаще всего говорят в связи с радиационным загрязнением, хотя это далеко не единственный фактор, влияющий на генофонд. Существует большой разрыв между обиходными и научными представлениями о влиянии радиации на генофонд. Например, нередко говорят об утрате генофонда, хотя совершенно ясно, что генофонд человеческого вида может быть утрачен лишь при условии практически поголовного уничтожения людей. Утрата генов или их вариантов в обозримых масштабах времени вероятно лишь в отношении очень редких вариантов. Во всяком случае, не менее возможно появление новых вариантов гена, изменение генных частот и соответственно частот гетерозиготных и гомозиготных генотипов.

Однако действие гена зависит от его окружения, взаимодействия с другими генами. На уровне личности дефекты нередко компенсируются развитием особых способностей (Гомер был слепым, Эзоп — уродливым, Байрон и Пастернак — хромыми), а доступные сегодня методы генной терапии открывают возможность исправления врождённых дефектов без вмешательства в генофонд.

Стремление большинства людей сохранить генофонд таким, каким его создала природа, имеет под собой вполне естественные основания. Исторически генофонд сложился в результате длительной эволюции и обеспечил приспособление человеческих популяций к широкому спектру природных условий. Генетическое разнообразие людей на по-

пуляционном и индивидуальном уровнях иногда носит очевидный адаптивный характер (например, тёмный цвет кожи в низких широтах, связанный с устойчивостью к ультрафиолетовому излучению), в других же случаях нейтрально по отношению к факторам среды. Независимо от этого генетическое разнообразие предопределило многообразие и динамичность развития человеческой культуры. Высшее достижение этой культуры — гуманистический принцип равноценности всех людей в переводе на биологический язык означает сохранение генофонда, не подлежащего искусственному отбору.

Вместе с тем продолжается действие и естественных факторов изменения генофонда — *мутации, дрейф генов и естественный отбор*. Загрязнение среды влияет на каждый из них. Хотя эти факторы действуют совместно, в аналитических целях имеет смысл рассмотреть их по отдельности.

## Факторы мутагенеза

К ним из физических воздействий кроме ионизирующего излучения, возможно, относятся электромагнитные поля.

Мутационные изменения снижают жизнеспособность организма в 1–2-кратном соотношении со скоростью гаметного мутагенеза. Наряду с прямым канцерогенным эффектом — мутациями, нарушающими взаимодействие клеточных клонов в процессе их роста и трансформации, происходит нарушение контрольных функций гормональной и иммунной систем, на фоне которого возрастает риск злокачественных новообразований как хемотоксичной, так и вирусной этиологии. Мутагенез, сопровождающий встраивание вирусной частицы в клеточный геном, также может возрастать вследствие иммунной недостаточности организма, появления новых штаммов вирусов или того и другого.

Чтобы определённая мутация привела к эволюционным изменениям видов, её частота должна быть достаточно высокой, а мутантный аллель должен фиксироваться во всех индивидуумах каждого поколения. При незначительном её количестве мутационные изменения не способны повлиять на эволюционную историю организмов. Чтобы частота аллеля росла, должны действовать определённые факторы, например, дрейф генов.

*Дрейф генов* — это случайный рост аллеля при воздействии нескольких событий, которые сочетаются и имеют стохастический характер. Данный процесс связывается с тем, что не все индивиды

в популяции принимают участие в размножении. Он наиболее характерен для признаков или заболеваний, которые встречаются редко, но вследствие отсутствия отбора способны храниться в роду или даже целой популяции небольшого размера в течение длительного времени. Такая закономерность часто прослеживается в малой популяции, численность которой не превышает 1000 особей, поскольку в данном случае чрезвычайно мала миграция.

Чтобы лучше понять дрейф генов, следует знать следующие закономерности. В случаях, когда частота аллеля составляет 0, в последующих поколениях она не меняется. Если же она достигает 1, то говорят, что ген в популяции фиксируется. Случайный дрейф генов и является следствием процесса фиксации при одновременной потере одного аллеля. Чаще всего данная закономерность прослеживается тогда, когда мутации и миграции не вызывают постоянного изменения составляющих локусов.

Поскольку частота генов имеет ненаправленный характер, она уменьшает разнообразие видов, а также увеличивает различия между локальными популяциями. Стоит отметить, что этому противодействует миграция, при которой разные группировки организмов обмениваются своими аллелями. Надо также сказать, что дрейф генов практически не влияет на частоту отдельных генов в больших популяциях, но в малых группах он может стать решающим эволюционным фактором. При этом количество аллелей резко меняется. Некоторые гены могут безвозвратно теряться, что значительно обедняет генетическое разнообразие.

В качестве примера можно привести массовые эпидемии, после которых восстановление популяции проводилось практически за счёт нескольких её представителей. При этом все потомки имели идентичный предкам геном. В дальнейшем расширение аллельного многообразия обеспечивалось завозом производителей или выездными вязками, которые способствуют росту различий на генном уровне. Крайним проявлением дрейфа генов можно назвать появление совершенно новой популяции, которая образуется только от нескольких особей — так называемый эффект основателя.

Следует сказать, что закономерности перестройки генома изучает *биотехнология*. *Генная инженерия* — это методика данной науки, которая позволяет переносить наследственную информацию. При этом перенос генов позволяет бороться с межвидовым барьером, а также придавать организмам необходимые свойства.



## Естественный отбор

Внимание общественности и экспертов в первую очередь привлекают генотоксичные факторы прямого действия и связанные с ними заболевания, тогда как естественный отбор — в долгосрочном плане гораздо более мощный фактор изменения генофонда — остаётся в тени. Между тем любое воздействие на среду хотя бы в небольшой степени изменяет направленность отбора, создавая давление на популяцию и сдвигая частоты соответствующих генотипов. Ген может долго удерживаться в популяции, несмотря на негативный отбор (который недостаточно эффективен при низких частотах), но угроза обеднения генофонда со временем становится всё более реальной.

*Охрана среды обитания и системы здравоохранения* — факторы, по существу, противостоящие естественному отбору в человеческих популяциях. Тем не менее отбор действует в особенности на пренатальном уровне. Любое заболевание снижает шансы на успешную карьеру, создание семьи и полноценный генетический вклад в следующее поколение. Поскольку люди неравноценны в отношении устойчивости к воздействиям специфического и общего характера, то отбор работает в пользу более устойчивых, невзирая на их личностные качества, и тем более активно, чем больше загрязнение среды. Эти процессы не только сокращают разнообразие людей, но и вымывают из популяции редкие гены, способствующие развитию социально ценных свойств, если они не сцеплены с генетическими факторами устойчивости к загрязнениям. Три тысячи лет назад светловолосые ахейцы сражались с темноволосыми малоазийскими племенами. В наше время настоящие блондины редки даже среди скандинавов, не говоря уже о греках.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Укажите основные причины глобального потепления климата.
2. Опишите последствия выпадения кислотных дождей.
3. Дайте характеристику диоксидам как загрязняющим веществам.
4. В чём опасность урбанизации в современном мире?

# ТЕМА 5

## ЭКОБИОЗАЩИТНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

1. Основные понятия.
2. Системы защиты атмосферы.
3. Системы защиты гидросферы.
4. Системы защиты среды обитания от энергетических воздействий.
5. Сбор, обезвреживание, переработка и захоронение отходов.

### 1. Основные понятия

**Безопасность жизнедеятельности** — это состояние деятельности, при которой с определённой вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Безопасность следует принимать как комплексную систему мер по защите человека и среды его обитания от опасностей, формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более компактна система защиты. Для обеспечения безопасности конкретной деятельности должны быть решены три задачи.

1. Произвести полный детальный анализ опасностей, формируемых в изучаемой деятельности.

2. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под эффективными мерами подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат дают максимальный эффект.

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности невозможно.

Загрязнение среды обитания вредными веществами неуклонно снижает качество потребляемых продуктов питания, воды, воздуха, способствует попаданию в организм человека вредных веществ, что, в свою очередь, сопровождается ростом числа отравлений и заболеваний, сокращением продолжительности жизни, ростом детской патологии и младенческой смертности.

**Качество среды обитания** — это степень соответствия параметров среды потребностям людей и других живых организмов, причём техносфера не должна по качеству значительно отличаться от природной среды.

При проектировании техносферы по условиям безопасности должны быть обеспечены:

- комфорт в зонах жизнедеятельности;
- правильное расположение зон пребывания человека и источников опасности;
- сокращение размеров опасных зон;
- применение эковиозащитной техники;
- применение средств индивидуальной защиты.

Если совершенствованием технических систем не удаётся обеспечить предельно допустимые воздействия на человека в зоне его пребывания, то необходимо применять эковиозащитную технику:

- пылеуловители;
- водоочистные устройства;
- экраны;
- ограждения;
- защитные боксы.

Особый интерес представляют средства защиты от опасных зон. Конструкция защитных устройств должна быть такой, чтобы при отказе его отдельных элементов действие других не прекращалось.

Средства защиты не должны снижать производительность труда, ухудшать условия наблюдения за технологическим процессом.

При современном уровне развития науки и техники без потерь практически обойтись невозможно. По мере того как будет совершенствоваться технология селективного разделения и взаимопревращения различных веществ, потери будут постоянно уменьшаться.

Промышленное производство без материальных, бесполезно накапливаемых потерь и отходов уже существует в целых отраслях, однако доля его пока мала.

Промышленность обязана заниматься проблемой безотходного и малоотходного производства, ибо при нарастающих темпах накопления отходов население может оказаться завалено свалками промышленных и бытовых отходов и остаться без питьевой воды, достаточно чистого воздуха и плодородных земель.

Всё-таки современная технология достаточно развита, чтобы в целом ряде производств и отраслей промышленности приостановить рост отходов. И в этом процессе государство должно взять

на себя роль руководителя и в плановом порядке разработать и реализовать комплексную государственную программу внедрения безотходных производств и переработки скопившихся отходов.

Основными направлениями и разработками безотходной и малоотходной технологии в отдельных отраслях промышленности являются:

- в энергетике необходимо шире использовать новые способы сжигания топлива, например, такие, как сжигание в кипящем слое, которое способствует снижению содержания загрязняющих веществ в отходящих газах, внедрение разработок по очистке от оксидов серы и азота газовых выбросов; добываться эксплуатации пылеочистного оборудования с максимально возможным КПД, при этом образующуюся золу эффективно использовать в качестве сырья при производстве строительных материалов и в других производствах;

- в горной промышленности необходимо: внедрять разработанные технологии до полной утилизации отходов. Как при открытом, так и при подземном способе добычи полезных ископаемых шире применять геотехнологические методы разработки месторождений полезных ископаемых, стремясь при этом к извлечению на земную поверхность только целевых компонентов; использовать безотходные методы обогащения и переработки природного сырья на месте его добычи; шире применять гидрометаллургические методы переработки руд;

- в чёрной и цветной металлургии при создании новых предприятий и реконструкции действующих производств необходимо внедрение безотходных и малоотходных технологических процессов, обеспечивающих экономное, рациональное использование рудного сырья:

- вовлечение в переработку газообразных, жидких и твёрдых отходов производства, снижение выбросов и сбросов вредных веществ с отходящими газами и сточными водами;

- при добыче и переработке руд чёрных и цветных металлов — широкое внедрение использования многотоннажных, отвальных, твёрдых отходов горного и обогатительного производства. В качестве строительных материалов, закладки выработанного пространства шахт, дорожных покрытий, стеновых блоков и т. д. вместо специально добываемых минеральных ресурсов;

- переработка в полном объёме всех доменных и ферросплавных шлаков, а также существенное увеличение масштабов

- переработки сталеплавильных шлаков и шлаков цветной металлургии;
- резкое сокращение расходов свежей воды и уменьшение сточных вод путём дальнейшего развития и внедрения безводных технологических процессов и бессточных систем водоснабжения;
  - повышение эффективности существующих и вновь создаваемых процессов улавливания побочных компонентов из отходящих газов и сточных вод;
  - широкое внедрение сухих способов очистки газов от пыли для всех видов металлургических производств и изыскание более совершенных способов очистки отходящих газов;
  - на предприятиях цветной металлургии ускорение внедрения ресурсосберегающих автогенных процессов, в том числе плавки в жидкой ванне, позволит не только интенсифицировать процесс переработки сырья и уменьшить расход энергоресурсов, но и значительно оздоровить воздушный бассейн в районе действия предприятий за счёт резкого сокращения объёма отходящих газов; позволит получить высококонцентрированные серосодержащие газы, используемые в производстве серной кислоты и элементарной серы;
  - разработка и широкое внедрение на металлургических предприятиях высокоэффективного очистного оборудования, а также аппаратов контроля разных параметров загрязнённости окружающей среды;
  - расширение применения микроэлектроники, АСУ, АСУ ТП в металлургии в целях экономии энергии и материалов, а также контроля образования отходов и их сокращения;
- в химической и нефтеперерабатывающей промышленности в более крупных масштабах необходимо использовать в технологических процессах окисление и восстановление с применением кислорода, азота и воздуха; электрохимические методы, мембранную технологию разделения газовых и жидкостных смесей; биотехнологию, включая производство биогаза из остатков органических продуктов, а также методы радиационной, ультрафиолетовой, электроимпульсной и плазменной интенсификации химических реакций;
- в машиностроении в области гальванического производства следует направлять научно-исследовательскую деятельность и разработки на водоочистку, переходить к замкнутым процессам рециркуляции воды и извлечению металлов из сточных вод; в области

обработки металлов шире внедрять получение деталей из пресс-пошков;

– в бумажной промышленности необходимо в первую очередь внедрять разработки по сокращению на единицу продукции расхода воды. Отдавать предпочтение созданию замкнутых и бессточных систем промышленного водоснабжения. Максимально использовать экстрагирующие соединения, содержащиеся в древесном сырье для получения целевых продуктов. Совершенствовать процессы по отбеливанию целлюлозы с помощью кислорода и озона. Улучшать переработку отходов лесозаготовок биотехнологическими методами в целевые продукты. Обеспечивать создание мощностей по переработке бумажных отходов, в том числе макулатуры.

## 2. Системы защиты атмосферы

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются промышленные предприятия, транспорт, тепловые электростанции, животноводческие комплексы. Каждый из этих источников связан с выделением большого количества специфических токсичных веществ, иногда не поддающихся сразу идентификации, хотя номенклатура многотоннажных загрязнений сравнительно мала. Предприятиями химической промышленности выбрасываются пыль, содержащая неорганические и органические вещества, и газы:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др. Воздушные выбросы нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности содержат углеводороды, сероводород и дурнопахнущие газы.

Заводы промышленности строительных материалов выбрасывают пыль, фториды, диоксиды серы и азота. Выхлопные газы автомобилей содержат примерно 200 веществ, в том числе канцерогенные углеводороды и тетраэтилсвинец. Тепловые электростанции выделяют в атмосферу газы, содержащие оксиды серы, азота и углерода, золу; металлы.

Загрязнения в атмосферу могут поступать из источников непрерывно или периодически, залпами или мгновенно. В случае залповых выбросов за короткий промежуток времени в воздух выделяется большое количество вредных веществ. Залповые выбросы возможны при авариях, при сжигании быстрогорящих отходов производства на специальных площадках уничтожения. При мгновенных выбро-

сах загрязнения выбрасываются в доли секунды иногда на значительную высоту. Они происходят при взрывных работах и авариях.

Таким образом, с отходящими в атмосферу газами поступают твёрдые, жидкие, паро- и газообразные неорганические и органические вещества, поэтому по агрегатному состоянию загрязнения подразделяют на твёрдые, жидкие, газообразные и смешанные.

Широкое применение для сухой очистки газов получили циклоны различных типов. Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере на  $180^\circ$ . Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит из бункера, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если бункер негерметичен, то из-за подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.

Все практические задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются цилиндрическими и коническими циклонами.

Производительность циклона зависит от его диаметра. Для очистки больших масс газов применяют батарейные циклоны, состоящие из большего числа параллельно установленных циклонных элементов.

Ротационные пылеуловители относят к аппаратам центробежного действия, которые одновременно с перемещением воздуха очищают его от фракции пыли крупнее 5 мкм. При монтаже и эксплуатации таких машин не требуется дополнительных площадей, необходимых для размещения специальных пылеулавливающих устройств при перемещении запылённого потока обыкновенным вентилятором.

Процесс фильтрования состоит в задержании частиц примесей на пористых перегородках при движении через них дисперсных сред. Фильтр представляет собой корпус, разделённый пористой перегородкой (фильтроэлементом) на две полости. В фильтр поступают загрязнённые газы, которые очищаются при прохождении фильтроэлемента. Частицы примесей оседают на входной части пористой перегородки и задерживаются в порах, образуя на поверхности перегородки слой, и таким образом становятся для вновь поступающих частиц частью фильтровой перегородки, что увеличивает

эффективность очистки фильтра и перепад давления на фильтроэлементе.

Широко используют для изготовления фильтроэлементов различные ткани и войлоки из синтетических волокон, которые обладают высокой прочностью, повышенной тепловой и химической стойкостью. Дальнейшее совершенствование синтетических тканей для фильтрования направлено на повышение их термохимических и теплопрочностных свойств с целью использования в системах очистки горючих газов. Находят применение следующие синтетические фильтроткани: лавсан, стеклоткань; нитрон.

Для тонкой очистки газов от примесей часто применяют нетканый материал — волокнистый слой с хаотическим расположением волокон. Это войлоки, полученные на специальных иглопробивных машинах. Тонкость и эффективность очистки войлоков выше, чем у фильтрующих элементов из тканей, изготовленных из нитей того же диаметра. Хорошими фильтрующими свойствами обладают хлопчатобумажные и шерстяные ткани: фильтровальное сукно, техническое сукно, байка с капроном. Ткани из натуральных волокон повышенной стоимости часто заменяют тканями из синтетических волокон, поскольку последние более прочны и химически стойки.

Одним из распространённых фильтрующих материалов служат проволочные сетки, изготовленные из низкоуглеродистых или высоколегированных сталей, меди, латуни, бронзы, никеля. Фильтрующие элементы, выполненные из сеток, могут работать в широком диапазоне температур от 0 до 800 К в агрессивных и неагрессивных средах. Тонкость очистки определяется размером ячейки сетки. Уменьшение размеров ячейки повышает тонкость очистки, но ведёт к повышению её гидравлического сопротивления. Сетчатые фильтрующие элементы можно изготавливать многослойными. Фильтрующие элементы из сеток, обладая некоторыми преимуществами по сравнению с фильтрующими элементами из тканей и войлока, уступают им по тонкости очистки.

Во всех технически развитых странах ведутся работы по созданию фильтрующих элементов из пористой керамики и пористых металлов различных типов.

Термический метод очистки газов (дожигание газов) основан на способности горючих токсичных компонентов (газы, пары и сильнопахнущие вещества) окисляться до менее токсичных при наличии свободного кислорода и высокой температуры газовой смеси. Этот метод применяется в тех случаях, когда объёмы выбросов велики,



а концентрации загрязняющих веществ превышают 300 ppm. Методы термической нейтрализации вредных примесей во многих случаях имеют преимущества перед методами адсорбции и абсорбции. Отсутствие шламового хозяйства, небольшие габариты очистных установок, простота их обслуживания, а в ряде случаев и пожарная автоматизация их работы, высокая эффективность обезвреживания при низкой стоимости очистки и другие положительные качества явились причиной их широкого распространения в машиностроительной промышленности. Область применения метода термической нейтрализации вредных примесей ограничивается характером образующихся при окислении продуктов реакции. Так, при сжигании газов, содержащих фосфор, галогены, серу, образующиеся продукты реакции по токсичности во много раз превышают исходный газовый выброс. Исходя из этого, метод термического обезвреживания применим для выбросов, включающих токсичные компоненты органического происхождения, но не содержащих галогены, серу и фосфор.

Различают три схемы термической нейтрализации газовых выбросов: прямое сжигание в пламени, термическое окисление и каталитическое сжигание. Прямое сжигание в пламени и термическое окисление осуществляют при температурах 600–800 °С; каталитическое сжигание — при 250–450 °С. Выбор схемы нейтрализации определяется химическим составом загрязняющих веществ, их концентрацией, начальной температурой газовых выбросов, объёмным расходом и предельно допустимыми нормами выброса загрязняющих веществ.

Прямое сжигание следует использовать только в тех случаях, когда отходящие газы обеспечивают подвод значительной части энергии, необходимой для осуществления процесса. Из экономических соображений этот вклад должен превышать 50 % общей теплоты сгорания. Одна из проблем, затрудняющих осуществление прямого сжигания, связана с тем, что температура пламени может достигать 1300 °С. При наличии достаточного избытка воздуха и длительном выдерживании газа при высокой температуре это приводит к образованию оксидов азота. Тем самым процесс сжигания, обезвреживая загрязняющие вещества одного типа, становится источником загрязняющих веществ другого типа.

Распространение в атмосфере выбрасываемых из труб и вентиляционных устройств промышленных выбросов подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания выбросов

существенное влияние оказывают состояние атмосферы, расположение предприятий и источников выбросов, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота источника, диаметр устья. Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное — распределением температур в вертикальном направлении. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов можно условно выделить три зоны загрязнения атмосферы:

1. *Зона переброса факела выброса* — характеризуется относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы.

2. *Зона задымления* — характеризуется максимальным содержанием вредных веществ.

3. *Зона постепенного снижения уровня загрязнения.*

Зона задымления является наиболее опасной для населения и должна быть исключена из селитебной застройки. Размеры этой зоны в зависимости от метеорологических условий находятся в пределах 10–49 высот трубы. Максимальная концентрация прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты над землёй. Подъём горячих струй почти полностью обусловлен подъёмной силой газов, имеющих более высокую температуру, чем окружающий воздух. Повышение температуры и момента количества движения выбрасываемых газов приводит к увеличению подъёмной силы и снижению их приземной концентрации. При выбросах через высокие трубы или при факельном выбросе в условиях безветрия рассеивание вредных веществ происходит главным образом под действием вертикальных потоков. Высокие скорости ветра увеличивают разбавляющую роль атмосферы, способствуя более низким приземным концентрациям в направлении ветра. Движение загрязняющих веществ вместе с воздушными массами, перемещаемыми ветром, приводит к тому, что турбулентные вихри изгибают, разрывают поток и перемешивают его с окружающими воздушными массами. Разбавление вдоль оси струи пропорционально средней скорости ветра на высоте струи. Вместе с тем с увеличением уменьшается высота факела над устьем трубы, поэтому для источников выбросов вводят понятие опасной скорости ветра, при которой приземные концентрации имеют наибольшие значения. Чтобы предотвратить отклонение струи вблизи горловины трубы, скорость выбрасываемого газа должна вдвое превышать опасную скорость ветра на уровне горловины трубы.

Распространение газообразных примесей и пылевых частиц диаметром менее 10 мкм, имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется общим закономерностям. Для более крупных частиц эта закономерность нарушается, так как скорость их осаждения под действием силы тяжести возрастает. Поскольку при очистке токсичной пыли крупные частицы улавливаются, как правило, легче, чем мелкие, в выбросах остаются очень мелкие частицы, их рассеивание в атмосфере рассчитывают так же, как и газовые выбросы.

## 3. Системы защиты гидросферы

Основные показатели качества воды:

1. *Физические* — температура воды, прозрачность и мутность, цветность воды, привкусы и запахи (естественное или искусственное происхождение).

2. *Химические*:

— ионный состав (наличие хлоридов, сульфидов);

— солесодержание по сухому остатку: (ультрапресные (до 100 мг/л), пресные (100–1 000 мг/л), слабосолёные (1 000–3 000 мг/л), солёные (3 000–10 000 мг/л), сильносолёные (10 000–50 000 мг/л), рассолы (50 000–300 000 мг/л), ультрарассолы (>300 000 мг/л);

— жёсткость обусловлена наличием солей Ca и Mg;

— щёлочность — общее содержание гидрооксидных ионов;

— окисляемость — количество кислорода (мг/л), эквивалентное расходу окислителя, необходимого для окисления примесей в данном объекте;

— pH;

— свободная углекислота.

3. *Санитарно-бактериологические*:

— коли-индекс — количество кишечных палочек в единице воды;

— коли-титр — это минимальный объём воды, приходящийся на одну кишечную палочку;

— бактерии и вирусы.

Требования к качеству:

1. Хозяйственно-питьевая вода должна соответствовать ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования и методы контроля качества», СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические

требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения».

Состав и свойства воды поверхностных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения регламентируются СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод». Он устанавливает требования: к качеству водных объектов для двух категорий водопользования — хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования; к условиям отведения сточных вод в водные объекты; к размещению, проектированию, строительству и эксплуатации объектов, способных оказать влияние на состояние поверхностных вод.

1. Содержание химических веществ в поверхностных водных объектах должны соответствовать требованиям ГН 2.1.5.689-98 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

2. Охлаждённая вода не должна давать отложений в трубах и аппаратах, содержать большое количество ионов железа, химических веществ, не должна вызывать коррозию и т. д.

3. Энергетическая вода не должна вызывать коррозию, вспениваться, не должна образовывать накипи; всегда контролируются газы в воде.

4. Качество технологической воды нормируется условиями её применения.

5. Основным требованием к поливочной воде является недопущение засоления почв после испарения воды.

6. Вода для нужд рыбного хозяйства должна отвечать строгим требованиям. Требования регламентируются «Перечень ПДК и ОБУВ (ориентировочно безопасные уровни воздействия) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов» (правила охраны поверхностных вод 1993 г.).

Водоподготовка сточных и природных вод для дальнейшего использования с учётом всех основных показателей качества предполагает ряд последовательных стадий.

*Процеживание* — первичная стадия очистки сточных вод — предназначено для выделения из сточных вод крупных нерастворимых примесей размером до 25 мм, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе очистного оборудования. Процеживание сточных вод осуществляется пропуском воды через решётки

и волокнуловители. При эксплуатации решётки должны непрерывно очищаться, что осуществляется, как правило, механически, и лишь при задержании примесей в количествах менее  $0,0042 \text{ м}^3/\text{ч}$  допускается ручная очистка. В зависимости от состава снятые с решёток примеси измельчают на специальных дробилках и сбрасывают в поток сточной воды за решёткой или направляют на переработку. Для этого могут применять решётки-дробилки, измельчающие задержанные примеси, не извлекая их из воды.

*Отстаивание* основано на особенностях процесса осаждения твёрдых частиц в жидкости. При этом может иметь место свободное осаждение неслипающихся частиц, сохранивших свои формы и размеры, и осаждение частиц, склонных к коагулированию и изменяющих при этом свою форму и размеры. Закономерности свободного осаждения частиц практически сохраняются при объёмной концентрации осаждающихся частиц до 1 %, что соответствует их массовой концентрации не более  $2,6 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Очистку сточных вод отстаиванием осуществляют в песколовках и отстойниках. Песколовки применяют для выделения частиц песка (стоки литейных цехов), окалин (стоки кузнечно-прессовых и прокатных цехов). В зависимости от направления движения сточной воды песколовки делят на горизонтальные с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальные и аэрируемые песколовки. Отделение твёрдых примесей в поле действия центробежных сил осуществляется в открытых или напорных гидроциклонах и центрифугах. Открытые гидроциклоны применяют для отделения из сточных вод крупных твёрдых частиц со скоростью осаждения более  $0,02 \text{ м}/\text{с}$ . Эффективность очистки сточных вод от твёрдых частиц в гидроциклонах зависит от характеристик примесей (вида, материала, размеров и формы частиц), а также от конструкционных и геометрических характеристик самого гидроциклона.

*Фильтрация* сточных вод предназначено для очистки их от тонкодисперсных твёрдых примесей с небольшой концентрацией. Процесс фильтрации применяется также после физико-химических и биологических методов очистки, так как некоторые из этих методов сопровождаются выделением в очищаемую жидкость механических загрязнений. Для очистки сточных вод машиностроительных предприятий используют два класса фильтров, зернистые, в которых очищаемую жидкость пропускают через насадки несвязанных пористых материалов, и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготовлены из связанных пористых материалов. Для очистки сточных

вод кузнечно-прессовых и прокатных цехов от ферромагнитных примесей применяют электромагнитные фильтры.

Очистка сточных вод от маслопродуктов в зависимости от их состава и концентрации осуществляется на машиностроительных предприятиях отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией и фильтрованием. Отстаивание основано на закономерностях всплывания маслопродуктов в воде по тем же законам, что и осаждение твёрдых частиц. Процесс отстаивания осуществляется в отстойниках и маслотовушках. При проектировании очистных сооружений предусматривают использование отстойников, как для осаждения твёрдых частиц, так и для всплывания маслопродуктов. В результате отстаивания маслопродукты, содержащиеся в воде, всплывают на поверхность, откуда удаляются маслосборным устройством. Для очистки концентрированных маслосодержащих сточных вод машиностроительных предприятий, например, стоков охлаждающих жидкостей металлорежущих станков, широко применяют обработку сточных вод специальными реагентами, способствующими коагуляции примесей в эмульсиях. В качестве реагентов используют  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , смесь  $\text{NaCl}$  и  $\text{Al}_2(\text{SiCl}_4)_3$ .

*Флотация.* Очистка сточных вод от маслопримесей флотацией заключается в интенсификации процесса всплывания маслопродуктов при обволакивании их частиц пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду. В основе этого процесса лежит молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде воздуха. Образование агрегатов «частица — пузырьки воздуха» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия находящихся в воде веществ, избыточного давления воздуха в сточной воде. В зависимости от способа образования пузырьков воздуха различают несколько видов флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, биологическую, электрофлотацию.

Очистка сточных вод от органических примесей осуществляется в основном биологическими методами, которые реализуют в естественных и искусственных сооружениях. В естественных сооружениях очистку осуществляют на полях фильтрации или орошения и в биологических прудах.

Суть биологической очистки на полях состоит в том, что при фильтровании сточной воды через слой почвы в ней адсорбируются взвешенные и коллоидные вещества, которые со временем образуют в порах почвы микробиологическую плёнку. Эта плёнка адсор-

бирует и окисляет задержанные органические вещества, превращая их в минеральные соединения. Различают биологические пруды с естественной и искусственной аэрацией. Требуемая площадь прудов с искусственной аэрацией существенно меньше благодаря более равномерному перемешиванию сточной воды подаваемым в неё сжатым воздухом и дополнительному поступлению кислорода из подаваемого воздуха. На некоторых машиностроительных предприятиях используют биологические аэрируемые пруды для доочистки небольших расходов сточных вод. Биологическая очистка сточных вод в искусственных сооружениях осуществляется в биологических фильтрах, аэротенках и окситенках.

Отстаивание и фильтрование воды значительно уменьшают количество содержащихся в ней микроорганизмов, но не дают гарантии окончательного их удаления. Даже в хорошо эксплуатируемых очистных сооружениях через фильтры проходит часть бактерий, сохранившихся в воде источников. Для окончательного удаления микроорганизмов применяют обеззараживание (*дезинфекцию*) воды. В современных очистных сооружениях обеззараживание воды производится во всех случаях, когда источник водоснабжения ненадёжен с санитарной точки зрения. Обеззараживанию, как правило, подвергается вода, уже прошедшая остальные стадии очистки: коагулирование, отстаивание, фильтрование, поскольку в осветлённой воде отсутствуют частицы взвешенных веществ, на которых могут находиться бактерии.

В некоторых случаях дезинфекция применяется как единственная самостоятельная мера очистки воды (например, при использовании подземных вод, ненадёжных с санитарной точки зрения). Обеззараживание воды может быть осуществлено при помощи различных мероприятий: хлорирования, озонирования, бактерицидно-го облучения.

В современной практике очистки воды наиболее широкое распространение получила её дезинфекция путём хлорирования. Количество активного хлора, необходимого для обеззараживания воды, должно определяться не по количеству болезнетворных бактерий, а по всему количеству органических веществ и микроорганизмов (а также и неорганических веществ, способных к окислению), которые могут находиться в хлорируемой воде. Правильное назначение дозы хлора является исключительно важным. Недостаточная доза хлора может привести к тому, что он не окажет необходимого бактерицидного действия, а излишняя доза хлора ухудшает вкусовые

качества воды. Поэтому доза хлора должна быть установлена в зависимости от индивидуальных свойств очищаемой воды на основании опытов с этой водой. Расчётная доза хлора при проектировании обеззараживающей установки должна быть принята исходя из необходимости очистки воды в период её максимального загрязнения (например, в период паводков). Для осветлённой речной воды доза хлора обычно колеблется в пределах 1,5–3 мг/л. При хлорировании подземных вод доза хлора чаще всего не превышает 1–1,5 мг/л. В отдельных случаях может потребоваться увеличение дозы хлора из-за наличия в воде закисного железа. При повышенном содержании в воде гуминовых веществ требуемая доза хлора возрастает. При введении хлора в обрабатываемую воду должны быть обеспечены хорошее смешивание его с водой и достаточная продолжительность (не менее 30 мин) его контакта с водой до подачи её потребителю. Хлорирование уже осветлённой воды обычно производят перед поступлением её в резервуар чистой воды, где и обеспечивается необходимое для их контакта время.

При разработке оборотных систем водоснабжения промышленных предприятий необходимо планировать очистку и повторное использование поверхностных сточных вод с учётом следующих направлений оптимального решения задачи:

- локализация стока с отдельных участков территории предприятия и его отвод либо в общезаводские очистные сооружения, либо (после предварительной очистки) в общую схему очистки поверхностных сточных вод;
- отдельная организация стоков с водосборных участков, отличающихся по составу и количеству примесей, поступающих в поверхностные сточные воды;
- очистка поверхностного стока совместно с производственными сточными водами;
- локальные очистные сооружения для поверхностных сточных вод.



## 4. Системы защиты среды обитания от энергетических воздействий

К *энергетическим загрязнениям* относят вибрационные и акустические воздействия, электромагнитные поля и излучения, воздействия радионуклидов и ионизирующие излучения.

При решении задач защиты от энергетических воздействий выделяют источник, приёмник энергии и защитное устройство, которое уменьшает до допустимых уровней поток энергии к приёмнику.

В общем случае защитное устройство обладает способностями отражать, поглощать, быть прозрачным по отношению к потоку энергии и характеризуется энергетическими коэффициентами поглощения, отражения, коэффициентом передачи. Поэтому можно выделить следующие *принципы защиты*:

- за счёт отражательной способности защитных устройств;
- за счёт поглощательной способности защитного устройства;
- защита, осуществляется с учётом свойств прозрачности защитных устройств.

На практике принципы обычно комбинируют, получая различные методы защиты, в частности, изоляцией и поглощением.

Методы изоляции используют, когда источник и приёмник энергии, являющийся одновременно объектом защиты, располагаются с разных сторон от защитного устройства. В основе этих методов лежит уменьшение прозрачности среды между источником и приёмником. Различают два основных метода изоляции: метод, при котором уменьшение прозрачности среды достигается за счёт поглощения энергии или за счёт высокой отражательной способности защитного устройства.

В основе методов поглощения лежит принцип увеличения потока энергии, прошедшего в защитное устройство. Есть два вида поглощения энергии защитным устройством: поглощение энергии самим защитным устройством за счёт её отбора от источника в той или иной форме, в том числе в виде необратимых потерь, и поглощение энергии в связи с большой прозрачностью защитного устройства.

Так, в вибросистеме действуют силы инерции, трения, упругости. Для защиты от вибрации используют метод виброизоляции, когда между источником вибрации и её приёмником, являющимся одновременно объектом защиты, устанавливают виброизолятор с малым коэффициентом передачи.

Защита от вибрации методами поглощения осуществляется в виде динамического гашения и вибропоглощения. В первом случае виброэнергия поглощается защитным устройством, отбирающим виброэнергию от источника. Защитное устройство, увеличивающее рассеяние энергии в результате повышения диссипативных свойств системы, называется поглотителем вибрации. Возможно комбинирование этих двух свойств одновременно с помощью динамических виброгасителей с трением.

В результате научно-технической революции широкое распространение получили процессы и приборы, представляющие собой источники *электромагнитных излучений (ЭМИ)*, которое в настоящее время превратилось в «бушующий океан» ЭМИ, во много раз превышающий естественный фон, создаваемый излучением Солнца.

Электромагнитные излучения искусственного происхождения в совокупности с естественным солнечным излучением оказывают значительное влияние на здоровье людей, а также на всё живое в биосфере. Электромагнитные излучения производят биологическое действие на функционирование организма в целом, а также на отдельные его системы — иммунную, эндокринную, кровеносную и т. д., а также на органы чувств — глаза, уши, приводя к различным нарушениям и повреждениям. Исследователями установлено негативное влияние электромагнитных излучений высоковольтных линий электропередач на людей, проживающих вблизи этих линий.

Для защиты от таких энергетических воздействий предлагается создание буферной зоны из плотных, густых лесонасаждений, включая высокие деревья типа кипариса и пирамидального тополя, между источниками ЭМИ и жилыми домами. Кроме того, жилые дома и источники ЭМИ должны иметь обязательно заземляющий контур. Подобные излучения создают телевизионные и радиоцентры (их передающие устройства), радиолокаторы (аэропортов, системы ПВО).

Источниками электромагнитного излучения непосредственно в жилом или производственном помещении, оказывающими негативное влияние на организм, считаются холодильники, телевизоры, компьютеры, радиоприёмники, видеомагнитофоны, пылесосы, микроволновые печи и т. д. По силе воздействия некоторых домашних электромагнитных полей на организм человека специалисты считают их сопоставимыми с электромагнитными излучениями ЛЭП. Отмечены отрицательные воздействия компьютеров на здоровье людей при длительной работе, проявляющиеся в виде депрессии,

стрессового состояния, головных болей, бессонницы, раздражения кожи, усталости глаз.

Переменное электромагнитное поле мониторов — мощный источник переменных электромагнитных и электрических полей высоких и низких частот.

По статистике проведённых исследований электрические поля высокой интенсивности в семь раз повышают вероятность онкологических заболеваний, а также способствуют изменению структуры зубных пломб, что приводит к их разрушению и выделению ядовитых веществ. Для защиты от вышеуказанных воздействий необходимо применение фильтров класса «максимальная защита».

Кроме того, экологи рекомендуют размещение комнатных декоративных растений, цветов в помещениях, где работает различная электроаппаратура, в том числе и компьютеры. В обязательном порядке также необходимо подключение электроприборов (включая компьютеры) к заземляющему контуру жилых и производственных зданий.

Промышленные предприятия, объекты энергетики, связи и транспорт являются основными источниками энергетического загрязнения окружающей среды.

## **5. Сбор, обезвреживание, переработка и захоронение отходов**

С каждым годом отходы занимают всё большие территории во всех уголках нашей планеты. Сегодня переработка мусора — самая острая, глобальная и наиболее актуальная экологическая проблема. Уровень загрязнённости окружающей среды из-за отходов и их утилизации увеличивается катастрофически быстрыми темпами. Именно поэтому необходимо внедрять технологии по переработке мусора, которые позволили бы минимизировать риски уничтожения природы. В Российской Федерации действует Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 07.04.2020) «Об отходах производства и потребления», который полностью регулирует весь процесс обращения с отходами на территории страны, то есть сбор, обезвреживание, переработку и захоронение отходов.

**Переработка мусора** — один из способов его утилизации. Самый перспективный и рациональный. Между тем активно используются обезвреживание, захоронение и сжигание.

Все отходы делятся на пять классов опасности. По каждому из них разработаны свои нормативы, определяющие предельно допустимую концентрацию в воздухе, среднюю смертельную дозу, зоны острого и хронического воздействия.

*К I классу опасности относятся вещества чрезвычайно высокой опасности.* Для них характерна наиболее значительная степень вредного воздействия на окружающую среду. Они приводят к кардинальному изменению экологической составляющей, восстановительный период отсутствует. К этому классу опасности относят: полоний, бензпирен, фторид водорода, соли свинца, таллий, диэтилртуть, плутоний, теллур, озон, циановодород и другие вещества. После их воздействия экологическая система нарушается в наибольшей степени, при этом период восстановления отсутствует.

На практике такие отходы могут представлять собой трансформаторы, конденсаторы, креозол и его остатки, ртутные термометры (отработанные или бракованные) и другие ртутьсодержащие приборы, асбестовую пыль, синтетические и минеральные масла, отходы солей мышьяка, антидетонационные присадки и отходы.

*К II классу опасности относятся высокоопасные вещества.* У них высокая степень вредного воздействия на природу, они приводят к серьёзному нарушению экологического баланса в окружающей среде. Последствия влияния веществ II класса настолько велики, что природе потребуется не менее 30 лет для восстановления. К этому классу опасности относятся: литий, фенол, хлороформ, серная кислота, селен, сероводород, барий, формальдегид, сурьма, стирол, все нитриты, мышьяк, молибден и другие вещества. После их воздействия экологическая система сильно нарушается, а период восстановления составляет от 30 лет. На практике такие отходы могут представлять собой отработанные и бракованные аккумуляторы, автопокрышки, масла, щёлочи, кислоты, гальванические элементы, остатки рафинирования нефтесодержащих отходов, свинцовые опилки, кислые смолы.

К первому и второму классам опасности на практике часто относятся промышленные отходы, которые образовались в процессе функционирования различных производственных предприятий. Это могут быть масла, щёлочи, кислоты и другие химические вещества. Опасность также представляют отработанные люминесцентные и ртутные лампы, термометры, гальванические элементы.

*К III классу опасности относятся умеренно опасные вещества.* У них средняя степень вредного воздействия на окружающую среду. Они ещё приводят к нарушению экологической системы, но для восстановления требуется около 10 лет. После этого влияние источника заражения снижается к минимуму. К этому классу опасности относят соединения марганца, серебра, никеля, меди, бензосодержащие отходы, соляную кислоту, трихлорэтилен, фосфаты, этиловый спирт и другие вещества. После их воздействия экологическая система нарушается и для её восстановления требуется от 10 лет. Определение принадлежности к перечню отходов класса опасности III осуществляется расчётным или экспериментальным методом.

На практике такие отходы могут представлять собой отработанные медные провода, ацетон, обтирочные материалы, шлам очистки труб от нефти, масла (автомобильные, моторные), дизтопливо, цементную пыль, загрязнённый бензином песок, свежий навоз со свинофермы, свежий утиный и гусиный помёт, табачную пыль.

*К IV классу опасности относятся малоопасные вещества.* У них низкая степень вредного воздействия опасных отходов на окружающую среду. Эти вещества приводят к определённым нарушениям экологической системы, но она способна восстановиться в течение трёх лет в среднем. К этому классу опасности относятся сульфаты, хлориды, алюминий, метан, аммиак, этанол и другие вещества. После их воздействия экологическая система также нарушается, но период её восстановления наименьший — около 3 лет. Определение принадлежности к классу опасности IV осуществляется только экспериментальным методом.

На практике такие отходы часто являются строительными (бой кирпича, остатки щебня и арматуры, шпаклёвка, куски рубероида). Также это может быть уличный и дорожный мусор, отходы битума и асфальта, обломки мебели, упаковки, остатки пищи, осколки стекла, опилки, отходы пуха и перьев, перепревший навоз и помёт птицы, отработанный загрязнённый уголь.

*К V классу относятся вещества, не представляющие опасности.* У них минимальная степень воздействия на окружающую среду.

Основные классические методы утилизации мусора: сжигание, захоронение и переработка:

– *захоронение, или земляная засыпка* — мусор размещается на полигонах, утрамбовывается и пересыпается грунтом, после чего разлагается под землёй;

— *компостирование* — безопасный способ утилизировать отходы и получить удобрение для почвы, но для этого необходимы лишь органические компоненты;

— *сжигание* — распространённый метод утилизации мусора, который наносит огромный вред экологии;

— *низкотемпературный пиролиз* — эффективно обезвреживает отходы, снижая их количество до 10 раз, в процессе обработки мусора выделяется малое количество вредных веществ и получаются пиролизные масла, которые используются при изготовлении пластмассы;

— *высокотемпературный пиролиз, или плазменная переработка* — заключается в газификации мусора. Для осуществления процедуры не нужно сортировать отходы. Опасные вещества не попадают в атмосферу, так как при температуре 900 °С просто разлагаются. Полученные пиролизные масла не нуждаются в очистке.

Под вторичной переработкой подразумевают разнообразные методы утилизации отходов разных типов с целью повторного использования и возвращения в оборот полезных компонентов мусора. Существуют особо ценные виды сырья, из которых повторно можно изготовить продукты и получить прибыль. К ним относятся: бумага и картон, стекло, резина, полимеры, нефтепродукты, электроника, металлы, древесина, вторичные отходы и строительный мусор. Вторичная переработка является важным направлением в хозяйственной деятельности.

*Захоронение бытовых отходов.* Производится на специальных полигонах (специально оборудованные площадки). Существуют различные технологии укладки мусора, чаще всего производят утилизацию бульдозером. Среди продвинутых технологий — сортировка мусора (выбирают чёрные и цветные металлы, пластик и т. д.), уплотнение мусора с помощью промышленных прессов. Мусор формируется в брикеты и закапывается в землю. В последующем возможна добыча «биогаза» (в основном при разложении органики выделяется метан — горючий газ).

*Захоронение* — самый распространённый способ для утилизации множества отходов. Применяется для негорючих отходов, а также выделяющих опасные вещества и газы в процессе горения. Полигоны для утилизации ТКО в большинстве случаев используют защитные системы для предотвращения загрязнения и мониторинга состояния воздуха, почвы и грунтовых вод. Из всех способов этот наименее затратный, но, несмотря на многочисленные защитные системы, име-

ет серьёзный недостаток — полностью избавиться от загрязнения воздуха, почвы и воды невозможно.

*Компостирование отходов.* Способ утилизации органических веществ и их производных с помощью естественного процесса — разложения. Заводов, специализирующихся на этом виде переработки, не много. В основном этот способ используют в частных домовладениях. Это всем известная компостная яма. Результатом утилизации данным способом является компост, применяемый для удобрения почвы.

*Сжигание бытовых отходов* производится на специальных мусоросжигательных заводах. Предварительно производится частичная сортировка — с помощью электромагнитов извлекается металл и т. д. Применяются: принудительный поддув воздуха и/или кислорода, сложные очистные сооружения грубой и тонкой очистки.

*Плазменная переработка.* Переработка с помощью высоких температур. Органические отходы под воздействием температуры до 5 000 °С превращаются в безопасный для живых существ газ и растворяются в воздухе, а неорганические — в лёгкий стеклообразный шлак. Этот способ является весьма эффективным, так как позволяет не только полностью утилизировать мусор, но и получить пользу от выделяемого в процессе утилизации тепла, даёт возможность получать электроэнергию, а произведённый шлак применяется в строительстве.

Промышленные отходы делятся на твёрдые и жидкие. Основными направлениями ликвидации и переработки твёрдых отходов (кроме металлоотходов) являются вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории промышленного предприятия до появления новой технологии переработки их в полезные продукты (сырьё).

*Обработка твёрдых отходов.* Основные операции первичной обработки металлоотходов — сортировка, разделка и механическая обработка. Сортировка заключается в разделении лома и отходов по видам металлов. Разделка лома состоит в удалении неметаллических включений. Механическая обработка включает в себя рубку, резку, пакетирование и брикетирование на прессах. Каждая партия должна сопровождаться удостоверением о взрывобезопасности и безвредности. На предприятиях, где образуется большое количество металлоотходов, организуются специальные цехи (участки) для утилизации вторичных металлов.

При термической обработке отходов пластмасс расходуется большое количество кислорода и выделяется много высокотоксичных

продуктов (углеводороды, хлористый водород и др.). Наиболее рациональным методом ликвидации пластмассовых отходов служит высокомолекулярный нагрев без доступа воздуха (пиролиз), в результате которого из отходов пластмасс в смеси с другими отходами (дерево, резина и др.) получают ценные продукты: пирокарбон, горючий газ и жидкая смола. На большинстве промышленных предприятий пластмассы и древесные отходы входят в состав промышленного мусора предприятий, при этом разделение мусора на отдельные его компоненты оказывается экономически нецелесообразным.

Технология переработки мусора разрабатывается применительно к конкретному предприятию и определяется составом и количеством промышленного мусора, образующегося на территории. Захоронение отходов должно проводиться в специально отведённых местах по согласованию с органами государственного санитарного надзора. Пункт захоронения отходов необходимо располагать на незатопаемой территории с низким уровнем грунтовых вод, с наличием водоупорного глинистого слоя. Расстояние от места захоронения отходов до населённых мест и открытых водоёмов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, водоёмов рыбохозяйственного назначения устанавливается в каждом конкретном случае по согласованию с органами государственного санитарного надзора.

Технологический цикл обработки осадков сточных вод включает следующие виды обработки, ликвидации и утилизации: *уплотнение* (гравитационное, флотационное, центробежное, вибрационное); *кондиционирование осадков* проводят для разрушения коллоидной структуры осадка органического происхождения и увеличения их водоотдачи при обезвоживании; *обезвоживание* (сушка на иловых площадках, вакуум-фильтрация, фильтр-прессование, центрифугирование, виброфильтрование, термическая сушка). Обезвоживание термической сушкой применяется для осадков, содержащих сильно токсичные вещества, которые перед ликвидацией и утилизацией необходимо обеззараживать. *Ликвидация* (сжигание в печах, жидкофазное окисление, сброс в накопитель, закачка в земляные пустоты, вывоз на свалки). При назначении на утилизацию после уплотнения идут процессы *стабилизации* (сбраживание, аэробная стабилизация), *кондиционирования* (обработка неорганическими реагентами, тепловая обработка, обработка полиэлектролитами, замораживание, электрокоагуляция), *утилизации* (использование в сельском



хозяйстве, производстве строительных материалов, производстве сорбентов, регенерации металлов).

*Обезвреживание и захоронение радиоактивных отходов.* Сбор радиоактивных отходов должен производиться отдельно в зависимости от их физического состояния, взрыво- и огнеопасности и периода полураспада. Для сбора и транспортировки твёрдых и жидких радиоактивных отходов на предприятиях применяют специальные однотипные сборники, размер и конструкция которых определяются количеством отходов, видом и энергией излучений. Сборники разового пользования должны иметь достаточную прочность для транспортировки в них радиоактивных отходов. Транспортировка радиоактивных отходов к местам захоронения осуществляется на специально оборудованных автомашинах с крытым кузовом или цистерной (для жидких отходов). Проблема безопасного удаления и захоронения радиоактивных отходов ещё не решена окончательно и требует дальнейшего развития. Наиболее перспективным и более разработанным считается метод подземного захоронения жидких радиоактивных отходов между слоями водоупоров и цементной пульпы в расслаивающиеся горные породы. Сбор радиоактивных отходов производится отдельно, они запрессовываются в специальные ёмкости, после чего ведётся их захоронение в землю на достаточно большую глубину в малодоступных местах. Слаборadioактивные отходы подвергаются очистке и сбрасываются в окружающую среду.

## Вопросы и задания для самоконтроля

1. В чём особенности захоронения радиоактивных отходов?
2. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов можно условно выделить три зоны загрязнения атмосферы. Перечислите их.

## ТЕМА 6

# ЭКОНОМИКО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

1. Основные понятия.
2. Модели мировой экономики.

## 1. Основные понятия

**Природопользование** — это практическая деятельность человека по использованию природных ресурсов в целях удовлетворения материальных и культурных потребностей общества.

С тех пор как человек существует на Земле, он непрерывно взаимодействует с окружающей его природой. Взаимодействие это носит как непосредственный характер, так и опосредованный. Основу непосредственного взаимодействия человека с окружающей его природной средой составляет общий для всех организмов биологический обмен веществ. Однако наиболее специфическим и значимым для людей как социальных существ является опосредованный способ взаимодействия с природой благодаря применению различных технических приспособлений. При таком взаимодействии происходит обмен веществ между человеком и природой, но темпы его развития существенно отличаются от непосредственного обмена, поскольку нарастание его не ограничивается естественными размерами тел организмов, а обусловлено развитием знаний и совершенствованием технических приспособлений, применяемых людьми.

Таким образом, взаимодействие в этом случае развивается по принципу положительной обратной связи: чем совершеннее техника и технологии, тем больше массы природного вещества приводятся ими в движение, и этот процесс может идти с непрерывным нарастанием, пока не возникнет какое-либо внешнее непреодолимое препятствие. Если бы наши предки ограничивали свою деятельность только приспособлением к природе и присвоением её готовых продуктов, то они никогда не вышли бы из животного состояния, в котором находились изначально.

Только в противостоянии природе, в постоянной борьбе с ней и преобразовании соответственно своим потребностям и целям мог-

ло сформироваться существо, прошедшее путь от животного к человеку. Начало человеку могла дать только такая не совсем природная форма деятельности, как труд, главной особенностью которого является изготовление субъектом труда одних предметов (продуктов) с помощью других предметов (орудий). Именно труд стал основой человеческой эволюции. Трудовая деятельность, дав человеку колоссальные преимущества в борьбе за выживание перед остальными существами, в то же время поставила его перед опасностью стать со временем силой, способной разрушить природную среду своей собственной жизни.

Всю предыдущую историю можно рассматривать в экологическом смысле как шедший с ускорением процесс накопления тех изменений в науке, технике и в состоянии окружающей среды, которые, в конце концов, переросли в современный экологический кризис.

Основной признак этого кризиса — резкое качественное изменение биосферы, происшедшее за последние 50 лет. Более того, не так давно появились уже первые признаки перерастания экокритиса в экологическую катастрофу, признаками которой являются процессы необратимого разрушения биосферы. Такими признаками многие специалисты считают зафиксированное в середине 1980-х гг. разрушение озонового экрана в верхних слоях атмосферы, всё более нарастающее обезвоживание материковых территорий планеты, утрату климатической стабильности и многие другие тенденции в изменении природной среды.

Экологические проблемы поставили человечество перед выбором дальнейшего пути развития. Быть ли ему по-прежнему ориентированным на безграничный рост производства или этот рост должен быть согласован с реальными возможностями природной среды и человеческого организма, соразмерен не только с ближайшими, но и с отдалёнными целями социального развития?

Все эти вопросы требуют глубокого осмысления, поскольку возникла пограничная ситуация неординарного порядка.

Во-первых, она касается не отдельных людей или человеческих коллективов, а всего человечества в целом.

Во-вторых, необычны темпы развития событий, они явно опережают возможности их познания не только на обыденном уровне, но даже на уровне научно-теоретического мышления.

В-третьих, проблема не может быть решена простым применением силовых средств, как это зачастую было прежде.

Во многих случаях решение экологических проблем требует не столько наращивания технической мощи, сколько воздержания от таких видов деятельности, которые, не будучи обязательным условием существования людей, могут быть прекращены или существенно ограничены экологически допустимыми рамками, если они связаны с большим потреблением природных ресурсов. Виды деятельности, обязательные для существования людей, должны быть тщательно продуманы с учётом экологически щадящего режима в отношении как природных ресурсов, так и человеческого здоровья.

Таким образом, настало время критического пересмотра всех направлений человеческой активности и тех областей знания и духовной культуры, которые их обслуживают. Человечество в целом держит экзамен на подлинную разумность перед лицом тех новых требований, которые предъявляет ему биосфера. Этими требованиями являются:

- биосферосовместимость на основе знания и использования законов сохранения биосферы;
- умеренность в потреблении природных ресурсов, преодоление расточительности потребительской структуры общества;
- взаимная терпимость и миролюбие народов планеты в отношениях друг с другом;
- следование общезначимым, экологически продуманным и сознательно оставленным глобальным целям общественного развития.

Все эти требования предполагают движение человечества к единой глобальной целостности на основе совместного формирования и поддержания новой планетной оболочки, которую В. И. Вернадский называл ноосферой.

Проблемы окружающей среды и использования природных ресурсов состоят из комплекса государственных, международных и общественных мероприятий, реализация которых находится в прямой зависимости от социально-экономического строя различных государств и их технических возможностей.

Факты, характеризующие ухудшение состояния окружающей природной среды и расточительное использование природных ресурсов, в значительной мере связаны с просчётами, ошибками и порочной практикой некоторых плановых и хозяйственных органов, научных, изыскательских, проектных и строительных организаций, считающих, что достижение ближайших хозяйственных, экономических, экологических и иных целей имеет определённый приоритет перед решением долговременных задач сохранения биосферы.

Таким образом, ухудшение природной среды объясняется следующими причинами:

- недостаточностью знаний об экологических системах, границах их устойчивого функционирования;
- неумением прогнозировать изменения окружающей среды и их влияние на здоровье человека;
- ведомственной и узкопрофессиональной ограниченностью в решении экономических, инженерно-технических вопросов, недооценкой мер предупреждения деградации и защиты природной среды и природохозяйственных объектов;
- незначительностью разработок или отсутствием технологических основ безотходных производств и экономических исследований, направленных на выработку критериев развития производства с целью сохранения равновесия окружающей среды;
- неподготовленностью производства;
- низкой квалификацией кадров, работающих на очистных сооружениях;
- определённой психологической неподготовленностью и инерционностью (до последнего времени вопросы охраны природы считались второстепенными).

Сегодня основной стратегической линией в научной и хозяйственной деятельности людей должна стать формула: понять, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы рационально использовать. Поэтому природопользование сейчас рассматривается не только как процесс использования природных ресурсов, но и как наука, разрабатывающая общие принципы осуществления всякой деятельности, связанной с использованием природных ресурсов и воздействием на них, которые позволяют избежать экологической катастрофы. Условно можно выделить три уровня природопользования:

- *локальный уровень*, ограниченный рамками владения одного субъекта: домохозяйство, двор, предприятие или ферма;
- *региональный уровень* — совокупность субъектов одного региона или страны;
- *глобальный уровень* — совокупность всех стран и регионов природопользования.

Непосредственное воздействие на природу оказывается лишь на локальном уровне, но совокупная сила таких воздействий может наносить значительный вред экосистеме региона и биосфере в целом.

Выработка методик и контроль над функционированием такой системы осуществляется на региональном уровне. Кроме этого,

на региональном уровне проводятся восстановительные природоохранные мероприятия. Государство как сильнейший социальный институт сейчас оказывает самое значительное влияние на уровень разрушения экосистемы в том или ином регионе.

Важнейшими *задачами природопользования* как науки является изучение природной среды как ресурсовоспроизводящей системы и путей повышения её продуктивности на основе закономерностей функционирования природных экосистем, а также раскрытие механизмов устойчивости и самовосстановления природных комплексов, то есть человеку необходимо научиться предвидеть будущее и выработать стратегию проектирования и создания нужной ему природно-технической среды. При этом следует учитывать, что экологическая проблема имеет по крайней мере *три аспекта*:

— *техничко-экономический* (связанный с угрозой истощения природных ресурсов);

— *экологический* (связанный с биологическим равновесием человеческого общества с природой при глобальном загрязнении окружающей среды);

— *социально-политический* (эти проблемы связаны с необходимостью их решения не только в рамках отдельных регионов и даже стран, но и в глобальном масштабе, охватывающем человечество в целом).

Рациональное природопользование является существенным условием охраны окружающей природной среды.

*Охрана окружающей природной среды (природы)* — система международных, государственных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование, воспроизводство и охрану природных ресурсов, на улучшение состояния природной среды в интересах удовлетворения материальных и культурных потребностей как существующих, так и будущих поколений людей. Охрана природы — система мероприятий по оптимизации взаимоотношений человеческого общества и природы. В природоохранной деятельности различают охрану атмосферы, вод, недр, почв, растительности и животного мира.

Природопользование и охрана природы очень тесно связаны между собой. В зависимости от последствий хозяйственной деятельности человека различают природопользование *нерациональное* и *рациональное*.

*Нерациональное природопользование* ведёт к истощению (и даже исчезновению) природных ресурсов, загрязнению окружающей сре-

ды, нарушению экологического равновесия природных систем, то есть к экологическому кризису или катастрофе.

Причины *нерационального природопользования* различны. Это недостаточное познание законов экологии, слабая материальная заинтересованность производителей, низкая экологическая культура населения и т. д. Кроме того, в разных странах вопросы природопользования и охраны природы решаются по-разному в зависимости от целого ряда факторов: политических, экономических, социальных, нравственных и др.

*Рациональное природопользование* — это система деятельности человека, обеспечивающая наиболее эффективный режим воспроизводства и экономной эксплуатации природных ресурсов с учётом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей. Это комплексное научно обоснованное использование природных богатств, при котором достигается максимально возможное сохранение природно-ресурсного потенциала при минимальном нарушении способности экосистем к саморегуляции и самовосстановлению.

Рациональное природопользование обязывает рассматривать природные (экологические) процессы и хозяйственную деятельность человека как единую биоэкономическую систему «производство — окружающая среда». Следовательно, проблема управления общественным производством перерастает в несравнимо более сложную проблему управления биоэкономической системой. В самом общем виде она может быть сформулирована следующим образом: выбрать такое соотношение между достигнутым уровнем мощностей технологических систем и темпами их роста, которое обеспечило бы сохранение качества окружающей среды в определённых строго заданных пределах.

Рациональный подход природопользования должен опираться на два *фундаментальных принципа*:

- 1) возможно полное использование природного ресурса;
- 2) доведение неиспользованных отходов производства до такого состояния, при котором они могут быть ассимилированы экологическими системами.

Современная практика использования даров природы выработала другие *принципы рационального природопользования*:

- исключение вредных выбросов и отходов в окружающую среду;
- применение во всех отраслях народного хозяйства безотходных технологий и замкнутых циклов водопотребления;

- комплексное использование минеральных ресурсов;
- полная оценка геологических условий в промышленном строительстве;
- улучшение условий жизни людей во всех регионах страны за счёт сохранения и улучшения окружающей среды, к главным компонентам которой относятся чистый воздух, чистая вода, солнечный свет и умеренная температура, а также красота и величие природы, влияющие на психологический настрой человека.

Теоретическим фундаментом рационального природопользования и охраны природы в первую очередь является экология. Конечная цель рационального природопользования и охраны природы — обеспечение благоприятных условий для жизни человека, развития хозяйства, науки, культуры и т. д., для удовлетворения материальных и культурных потребностей всего человеческого общества.

Право природопользования понимается в двух значениях. В объективном смысле право природопользования — это совокупность правовых норм, регулирующих отношения по поводу использования и охраны природных ресурсов.

Выделяют следующие группы отношений в сфере природопользования:

- отношения собственности на природные ресурсы;
- отношения пользования природными объектами;
- отношения по поводу охраны природных ресурсов.

В субъективном смысле право природопользования — это совокупность прав и обязанностей конкретного природопользователя по использованию и охране природного объекта. Субъектами права природопользования могут быть юридические и физические лица.

Право природопользования производно от права собственности на природные ресурсы. Природопользователи осуществляют своё право либо в силу принадлежащего им права собственности на природный объект, либо на основе предоставляемого собственником природных ресурсов титульного права пользования природным объектом, например, права аренды, права постоянного или временного пользования и т. д.

Объектами субъективного права природопользования являются конкретные природные объекты или их части, участки. Объектом права природопользования могут являться лишь те природные объекты, которые могут быть индивидуализированы в установленном правовом порядке. Такими объектами являются земля, недра, водные объекты, животный мир, леса. В предмет права природопользования



вания не входят, например, отношения пользования атмосферным воздухом для дыхания, пользование солнечной энергией для удовлетворения физиологических потребностей. Эти отношения составляют предмет регулирования природоохранительного права. Содержание права природопользования составляют права и обязанности природопользователей и правоотношения, направленные на осуществление названных прав и обязанностей.

Сущность экономического стимулирования природоохранной деятельности заключается в создании у природопользователей непосредственной материальной заинтересованности в осуществлении мер природоохранного характера. Экономическое стимулирование может осуществляться методами позитивной и негативной мотивации. Эти две стороны экономического стимулирования можно определить как меры заинтересованности и меры ответственности. *Экономический механизм* природопользования должен не только противодействовать нарушениям установленных правил и норм санкциями и штрафами, но и поощрять предприятия, способствующие сохранению природной среды.

В основе экономических механизмов лежит принцип максимальной прибыли, который стимулирует участников рынка к минимизации издержек. Надо отметить, что такой стимул действителен только в условиях конкурентного рынка, а значит, важнейшая задача при реализации экономической программы защиты окружающей среды — создание конкурентной среды во всех отраслях природопользования.

Суммарные расходы субъекта на эксплуатацию какого-либо природного ресурса будут складываться из следующих затрат:

- плата за ресурс (лицензия, квота);
- штрафы за плохое использование ресурса;
- потери от загрязнения (падение урожая, снижение капитализации);
- социальные потери (потеря доверия потребителей, недовольство персонала);
- издержки на охрану природы.

Уровень нагрузки на окружающую среду будет обратно пропорционален издержкам на охрану природы, а размер остальных потерь находится в нелинейной зависимости от этой нагрузки.

Таким образом, для экономического стимулирования рационального природопользования необходимо оценить ассимиляционный потенциал среды в отношении конкретного вида загрязнения,

построить кривую затрат на его очистку и кривую потерь самого пользователя от загрязнения, а затем выработать систему оплаты и штрафов, чтобы сумма расходов достигала минимума на уровне АПОС.

Введение штрафов и платы за пользование природных ресурсов является самым очевидным, но не самым оптимальным методом экономической стимуляции. Как известно, подобные платежи очень сложно и дорого администрировать, кроме того они создают предпосылки для роста коррупции, поэтому необходимо прилагать усилия к повышению экологической сознательности и социальной ответственности населения. Создание системы экологического образования, повышение информированности общества об экологической обстановке, поддержка общественных природоохранных организаций могут принести значительный эколого-экономический эффект.

Система экономических механизмов охраны окружающей среды включает:

- ведение кадастров;
- планирование и финансирование природоохранных мероприятий;
- установление лимитов использования природных ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещения отходов;
- установление нормативов платы и размеров платежей за использование природных ресурсов, выбросы и сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, размещение отходов и другие виды вредного воздействия;
- экологическое страхование;
- эколого-экономическое стимулирование.

*Кадастры природных ресурсов* — это систематизированные своды или своеобразные банки данных, включающие качественные и количественные описания ресурсов, а в ряде случаев и их эколого-экономическую оценку. Они необходимы для организации эффективного использования ресурсов, рационального размещения и определения специализации хозяйственных объектов, для проведения природоохранных мероприятий. На базе кадастров определяют экономическую оценку природных ресурсов, их продажную цену, стоимость мер по восстановлению и оздоровлению окружающей среды.

К составлению кадастров сложилось два основных подхода — отраслевой (по отдельным видам природных ресурсов) и региональ-

ный (по отдельным регионам России). К отраслевым кадастрам можно отнести земельный, полезных ископаемых, водный, лесной.

Наиболее обстоятельно разработан *земельный кадастр*. Он включает в себя сведения о природном, хозяйственном и правовом положении земель, данные по видам землепользования, качественную и количественную характеристику земель по видам угодий, качественную оценку (бонитировку) почв, экономическую оценку земель. Материалы кадастра применяют при планировании использования земель, распределении их по целевому назначению (в случае предоставления или изъятия), при определении платежей за землю и оценке степени рационального использования земель. Ведением земельного кадастра занимается Государственный комитет по земельным ресурсам и землеустройству РФ.

*Кадастр полезных ископаемых* включает в себя сведения о ценности каждого месторождения, качественные и количественные характеристики ресурсов, горнотехнические, экономические, экологические условия их разработки. Его материалы находятся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПЭР России).

*Водный кадастр* представляет собой систематизированный, постоянно пополняемый и уточняемый свод сведений о водных объектах, составляющий единый государственный водный фонд. Он содержит данные о запасах, режиме, качестве и использовании вод. Кадастр состоит из трёх разделов:

- 1) поверхностные воды (реки и каналы; озёра и водохранилища; качество вод суши; селёвые потоки; ледники; моря и морские устья рек);
- 2) подземные воды;
- 3) использование вод.

В рамках водного кадастра на базе наблюдений, которые ведутся Росгидрометом, создаются банк данных о водных ресурсах и автоматизированная информационная система. На основе материалов кадастра определяют целевое использование вод, проводят паспортизацию водных объектов, изъятие из хозяйственного оборота наиболее ценных вод, вводят ограничительные меры с целью охраны водоисточников.

*Лесной кадастр* составляет Министерство природных ресурсов и экологии России. Он содержит сведения о правовом режиме лесного фонда, о количественной и качественной оценке состояния лесов, о групповом подразделении и категории лесов по их защищённости,

даёт экономическую оценку лесных ресурсов. Материалы кадастра используются для определения экономической и экологической значимости лесов, при выборе сырьевых баз для заготовки древесины, для проведения лесовосстановительных работ, замены малопродуктивных лесов высокопродуктивными лесными угодьями.

Функции кадастров выполняют *реестры* охотничьих животных и рыбных запасов, на основе которых ведут количественный и качественный учёт животных охотничьего фонда и рыбных ресурсов, устанавливая ограничения охоты и вылова на виды, которые проявляют устойчивые тенденции к сокращению популяций. Поставлен вопрос о создании кадастра ландшафтов, ведутся работы по составлению свода данных об особо охраняемых природных объектах и территориях рекреационного назначения.

Природоохранные мероприятия планируют с учётом государственных прогнозов социально-экономического развития, федеральных программ в области экологического развития Российской Федерации, целевых программ в области охраны окружающей среды субъектов Федерации на основе научных исследований, направленных на решение задач в области охраны природы. Экологические программы и мероприятия по сохранению природной среды финансируют за счёт федерального бюджета, бюджетов регионов, средств предприятий, учреждений и организаций, экологических фондов, банковских кредитов и др.

Финансирование природоохранных мероприятий, включая экологические программы различных уровней, осуществляется из следующих источников:

- бюджеты всех уровней;
- средства предприятий, учреждений и организаций;
- фонды экологического страхования;
- кредиты банков;
- займы в инвалюте;
- средства населения, включая добровольные взносы иностранных юридических лиц и граждан.

*Лимиты* в области охраны окружающей среды — одна из форм экологических ограничений, представляющих собой установленные предприятиям-природопользователям на определённый срок объёмы предельного использования природных ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в природу и размещения отходов производства. При их введении деятельность предприятий в области природопользования некоторое время регулируется не норма-

тивами предельно допустимых выбросов и предельно допустимых сбросов, а индивидуально установленными нормами, то есть временно согласованными выбросами.

Долгое время природопользование в нашей стране было бесплатным, то есть предприятия использовали землю, воду и другие природные ресурсы, а также загрязняли окружающую природную среду без всякой компенсации. Только в случае очень сильного загрязнения с катастрофическими последствиями для человека и природы они были вынуждены выплачивать штрафы. Такая безответственность вела к нерациональному расходованию природных ресурсов. В то же время государству приходилось вкладывать большие средства в разведку запасов подземных вод и полезных ископаемых, в подготовку к их добыче, в посадку вырубленных лесов. В начале 1990-х гг. была введена платность природопользования, включающая плату за право пользования практически всеми природными ресурсами, за загрязнение окружающей природной среды, размещение в ней отходов производства и за другие виды воздействия.

*Цели платного природопользования:*

- рациональное и комплексное использование природных ресурсов;
- стимулирование деятельности по охране окружающей среды;
- выравнивание социально-экономических условий хозяйствования при использовании природных ресурсов;
- формирование специальных фондов финансирования по охране и воспроизводству природных ресурсов.

При этом плата за сверхлимитное использование и загрязнение в несколько раз превышает плату за использование и загрязнение в пределах установленных предприятию нормативов. Внесение платы за использование и загрязнение не освобождает природопользователя от мероприятий по охране окружающей среды и возмещения ущерба. *Условия и порядок использования природных ресурсов, права и обязанности природопользователя, размеры платежей* закрепляют в договоре и лицензии (разрешении) на комплексное природопользование.

*Экологическое страхование* — это создание за счёт денежных средств предприятий, организаций, граждан специальных резервных фондов (страховых фондов), предназначенных для возмещения ущерба и потерь, вызванных неблагоприятными событиями, экологическими и стихийными бедствиями, авариями и катастрофами.

По сути это, во-первых, страхование ответственности объектов — потенциальных виновников аварийного, непреднамеренного загрязнения среды, а во-вторых, страхование собственных убытков, возникающих у источников такого загрязнения. Цель такого страхования — наиболее полная компенсация нанесённого экологического вреда. Страхование возмещение включает компенсацию ущерба, расходы по очистке загрязнённой территории и приведению её в пригодное состояние, расходы по спасению жизни и имущества лиц, которым в результате страхового события причинён вред.

В настоящее время основной задачей является формирование правовой и нормативно-методической базы для введения экологического страхования и планирования эффективного использования резервов превентивных природоохранных мероприятий, образующихся в страховых компаниях.

*Эколого-экономическое стимулирование* — это составная часть экономического механизма, обеспечивающая заинтересованность, выгодность для предприятия и его работников природоохранной деятельности, которая включает:

- налогообложение;
  - ценовую политику;
  - финансово-кредитный механизм;
  - государственную поддержку предприятий, производящих природоохранное оборудование и контрольно-измерительные приборы, а также фирм, выполняющих и оказывающих услуги экологического назначения;
  - создание системы экологической сертификации, в том числе аккредитации органов по сертификации;
  - формирование рынка экологических работ и услуг;
  - проведение политики торговли правами на загрязнение;
  - лицензирование использования ресурсов.
- К мерам материального поощрения относятся:
- установление налоговых льгот (сумма прибыли, с которой взимается налог, уменьшается на величину, полностью или частично соответствующую природоохранным затратам);
  - освобождение от налогообложения экологических фондов и природоохранного имущества;
  - применение поощрительных цен и надбавок на экологически чистую продукцию (овощи с пониженным содержанием нитратов, пестицидов и других вредных веществ могут стоить дороже, а поэтому их выгоднее продавать и выращивать);

– применение льготного кредитования предприятий, эффективно осуществляющих меры по охране окружающей среды (снижение процента за кредит или беспроцентное кредитование).

К мерам материального наказания относятся:

– введение специального добавочного налогообложения экологически вредной продукции и продукции, выпускаемой с применением экологически опасных технологий (то есть такой продукции, потребление или производство которой опасно для здоровья людей и окружающей среды);

– штрафы за нарушения природоохранного законодательства.

Меры стимулирования в виде дополнительного премирования или, наоборот, лишения премии, вручения ценных подарков и других мер поощрения и наказания по результатам природоохранной деятельности должны быть предусмотрены и для отдельных работников предприятия, непосредственно принимающих в ней участие.

Помимо рассмотренных способов экономического стимулирования природопользования следует выделить такой путь, как *формирование рынка естественных ресурсов* (создание бирж ресурсов, проведение аукционов и конкурсов на их разработку и т. п.). Данный путь особенно актуален в условиях огромного природного богатства России и дефицита средств для его рационального использования и охраны. В связи с этим большое значение имеет совершенствование ценообразования в природоэксплуатирующих отраслях экономики. В частности, разумное повышение цен на природные ресурсы, более полный учёт экологического фактора в ценообразовании могли бы стимулировать производителей на режим ресурсосбережения. Ещё один путь улучшения финансирования охраны природы — создание внебюджетных экологических фондов, которые должны формироваться как поддерживающие финансовые структуры, дополняющие государственные затраты на экологические цели. Возможным экономическим механизмом предотвращения или смягчения последствий экологических аварий является страхование ответственности предприятий — источников повышенного риска, за причинение убытков, вследствие технологических сбоев или стихийных бедствий, приводящих к загрязнению окружающей среды.

Исследованные зависимости и тенденции показывают экологическую ущербность сложившихся мировых экономических отношений. Хрупкая экологическая стабильность начала рушиться, когда глобализация экономики привела к увеличению потребления

в странах, ранее бывших сырьевыми придатками развитого западного общества.

Таким образом, для предотвращения экологического кризиса необходимо построение новой экономики, ориентированной на восстановление и поддержание экологического равновесия, и новой идеологии, снижающей значимость нематериальных ценностей.

Основами новой экономики должны стать:

- платность пользования возобновляемыми экологическими ресурсами, в том числе ассимиляционным потенциалом окружающей среды;
- высокая стоимость невозобновляемых ресурсов;
- выпуск продукции с учётом её последующей переработки;
- повышенная ответственность за нерадивое использование природных ресурсов;
- естественное снижение численности человеческой популяции.

## 2. Модели мировой экономики

В 1968 г. по инициативе Аурелио Печчеи — общественного деятеля и бизнесмена, тогда входившего в руководство фирмы «Оливетти» был создан Римский клуб — неправительственная организация учёных, предпринимателей, общественных деятелей. Клуб был создан с целью анализа и поиска решений глобальных проблем. С самого начала существования Клуба его задачей стало привлечение внимания широкой общественности к накопившимся глобальным проблемам. Довольно быстро члены Клуба осознали, что наилучшей формой достижения подобной цели было бы создание и использование математических моделей. Это позволило бы, с их точки зрения, представить существующие проблемы в наиболее объективном ракурсе и поставить их в центр внимания всего общества.

В июне 1970 г. на заседании в Берне Римский клуб предложил профессору Дж. Форрестеру разработать модель глобального развития. Уже через четыре недели он представил примитивную модель, грубо имитирующую основные процессы мировой системы. Эта модель получила название «Мир-1». Последующие доработка и отладка привели к появлению так называемой модели «Мир-2». Описание самой модели, анализ полученных результатов и выводы были опубликованы в книге «Мировая динамика» в 1971 г.



Модель Форрестера построена на основании принципов системной динамики — метода изучения сложных систем с нелинейными обратными связями, который до этого сам Форрестер со своими сотрудниками разрабатывал с конца 1950-х гг. Аналитические основы построения модели, предназначенной для имитации мировых процессов, были рассмотрены в его предыдущих работах, посвящённых изучению промышленных и урбанизированных систем. Качественный скачок заключался лишь в том, чтобы перейти от подобных микросистем к глобальной макросистеме.

Непосредственно моделирование мировой динамики проводилось Форрестером поэтапно. Основные этапы таковы:

1. *Концептуализация* — выделение главного. На этом этапе выделялись наиболее существенные, на взгляд Форрестера, мировые процессы, такие как: 1) быстрый рост населения; 2) индустриализация и связанный с ней промышленный рост; 3) нехватка пищи; 4) рост отходов производства; 5) нехватка ресурсов. Отсюда основные переменные (системные уровни):

- 1) население  $P$ ;
- 2) основные фонды  $K$ ;
- 3) доля фондов в сельском хозяйстве (то есть в отрасли обеспечения пищей)  $X$ ;
- 4) уровень загрязнения (или просто загрязнение)  $Z$ ;
- 5) количество невозобновляемых (невосстановимых) природных ресурсов  $R$ .

А также факторы, через которые и осуществляется взаимовлияние переменных при построении дифференциальных уравнений:

- относительная численность населения  $P_p$  (население, нормированное на его численность в 1970 г.);
- удельный капитал  $K_p$ ;
- материальный уровень жизни  $C$ ;
- относительный уровень питания (количество пищи на человека)  $F$ ;
- нормированная величина удельного капитала в сельском хозяйстве  $X_p$ ;
- относительное загрязнение  $Z_s$ ;
- доля остающихся ресурсов  $R_R$ .

Помимо перечисленных переменных, Форрестер ввёл ещё понятие о «качестве жизни»  $Q$ . Этот фактор является своего рода мерой функционирования исследуемой системы, то есть носит характер индикатора. Зависит этот индикатор от четырёх факторов:  $P_p$ ,  $C$ ,  $F$ ,  $Z_s$ :

$Q = Q_C \cdot Q_F \cdot Q_P \cdot Q_Z$ . В целом он не играет существенной роли в модели, поэтому в дальнейшем не рассматривается.

Население оценивали числом людей, доля фондов в сельском хозяйстве — безразмерная величина между 0 и 1. Выбор единиц для фондов, загрязнения и ресурсов осуществлялся привязкой к базовому году. Единицей капитала считается условная величина — капитал, приходящийся на душу населения в 1970 г.; единицей ресурсов считается их годовое потребление в 1970 г.; за единицу загрязнения принимается условная величина — загрязнение, приходящееся на одного человека в 1970 г.

Результаты показали неизбежность кризиса, связанного с истощением ресурсов и ростом загрязнения, если сохранятся современные тенденции и не будет предпринято никаких мер для обеспечения бескризисного развития.

Единственный способ избежать кризиса, связанного, как считал Форрестер, с экспоненциальным ростом, — переход к *глобальной равновесию*. Форрестер писал, что без регенерации отходов и применения заменителей истощение природных ресурсов рано или поздно вызовет кризис в моделируемой системе.

После Форрестера разработка новой глобальной модели была осуществлена его учеником Д. Медоузом, построившим более подробную модель «Мир-3», являющуюся в некотором смысле продолжением работы Форрестера. Результаты его исследований стали широко известны после выхода в свет в 1972 г. книги «Пределы роста», которая стала первым официальным докладом, подготовленным по инициативе Римского клуба. Как и «Мир-2», модель Медоуза основывается на методе системной динамики, в ней тоже пять основных секторов (демография, капитал, сельское хозяйство, загрязнение, невозобновляемые ресурсы). Оказалось, что здесь также неизбежна катастрофа по причине истощения ресурсов и чрезмерного роста загрязнения.

Модели Форрестера и Медоуза привлекли внимание мировой общественности и научного сообщества к глобальным проблемам. По общему признанию, человечеству необходим новый путь развития, поскольку существующий завёл в тупик, поэтому складывается впечатление, что многие нынешние мировоззренческие ценности, ориентиры, порождённые и взятые человечеством у Западной цивилизации, перестали быть адекватными при попытке справиться с растущими трудностями.

На роль такой новой парадигмы претендует идея «устойчивого развития» (от англ. *sustainable development*, которое буквально пере-

водится как согласованное, самоподдерживающее развитие), впервые озвученная в 1986 г. Гру Харлем Брундтланд в докладе «Наше общее будущее». Именно с этого момента в средствах массовой информации начал употребляться термин «sustainable development», под которым стали понимать такую модель развития, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без уменьшения такой возможности для будущих поколений. Модель получила поддержку в 1992 г. на конференции ООН в Рио-де-Жанейро, где была принята Декларация по окружающей среде и развитию — декларация необходимых мер для проведения в жизнь стратегии устойчивого развития. Основные идеи этой декларации таковы:

1. Люди имеют право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой.

2. Сегодняшнее развитие не должно осуществляться во вред интересам развития и охране окружающей среды на благо нынешнего и будущих поколений.

3. Для достижения устойчивого развития защита окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него.

4. Искоренение нищеты и неравенства в уровне жизни в различных частях мира необходимо для обеспечения устойчивого роста и удовлетворения потребностей большинства населения.

5. Государства сотрудничают в целях сохранения, защиты и восстановления целостности экосистемы Земли. Развитые страны признают ответственность, которую они несут в контексте международных усилий по обеспечению устойчивого развития с учётом стресса, который создают их общества для глобальной окружающей среды, технологий и финансовых ресурсов, которыми они обладают.

6. Государства должны ограничить и ликвидировать нежизнеспособные модели производства и потребления и поощрять соответствующую демографическую политику.

7. Экологические вопросы решаются наиболее эффективным образом при участии всех заинтересованных граждан. Государства развивают и поощряют информированность и участие населения путём предоставления широкого доступа к экологической информации.

8. Государства должны сотрудничать в деле создания открытой международной экономической системы, которая приведёт к экономическому росту и устойчивому развитию во всех странах.

9. Устойчивое развитие требует более глубокого научного

понимания проблем. Государствам следует делиться знаниями и новыми технологиями для достижения целей устойчивости.

10. Война неизбежно оказывает разрушительное воздействие на процесс устойчивого развития, поэтому государства должны уважать международное право, обеспечивающее защиту окружающей среды во время вооружённых конфликтов, и должны сотрудничать в деле его дальнейшего развития.

Несмотря на принятие концепции устойчивого развития, тем не менее, нельзя не отметить, что «...анализ даже научных публикаций показывает, что ясности в понимании самого понятия не прибавилось. Можно сказать, что идёт ожесточённая борьба за выгодное каждому участнику этих научных и не очень научных дискуссий понимание этого термина. Суть проблемы заключается в том, что за этими двумя словами скрываются колоссальные материальные и финансовые интересы, которые и формируют различные в своих целях концепции устойчивого развития. В то же время существует ядро идей, которое признаётся всеми участвующими в общественном дискурсе сторонами и которое было бы правильно называть парадигмой устойчивого развития».

Одним из последствий таких дискуссий стало принятие положения о том, что каждое государство должно разрабатывать собственную национальную концепцию устойчивого развития и стратегии перехода к нему. Наибольший интерес представляет возможная национальная концепция США (на основании материалов Президентского совета по устойчивому развитию), поскольку это пока единственная на сегодняшний день сверхдержава, во многом определяющая будущее мировой цивилизации. Следовательно, любая стратегическая инициатива, исходящая из Вашингтона, должна рассматриваться предельно внимательно.

Если кратко суммировать основные положения данной концепции и «Повестки на XXI век», то получатся следующие условия устойчивого развития:

1. Скорейшая стабилизация численности населения планеты.
2. Отказ от излишеств в потреблении, то есть его сокращение.
3. Минимизация удельных расходов сырья и энергии во всех видах производства и замена невозобновимого сырья на возобновимое везде, где это возможно.
4. Недопущение роста загрязнений, переход к более чистому промышленному производству.
5. Широкое вовлечение науки в решение вставших проблем (создание необходимых технологий).

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский, В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М. : Наука, 1994. — 672 с.
2. Вернадский, В. И. Биосфера (Избр. тр. по биогеохимии) / под ред. А. И. Перельмана. — М. : Мысль, 1967. — 376 с.
3. Вернадский, В. И. Проблемы биогеохимии / В. И. Вернадский. — М. : Наука, 1980. — 228 с.
4. Одум, Г. Энергетический базис человека и природы / Г. Одум, Э. Одум ; пер. с англ. под ред. и с предисл. А. П. Огурцова. — М. : Прогресс, 1978. — 380 с. (Общественные науки за рубежом. Экономика).
5. Панин, М. С. Химическая экология : учеб. для вузов / М. С. Панин ; под ред. С. Е. Кудайбергенова. — Семипалатинск : Семипалатин. гос. ун-т им. Шакарима, 2002. — 852 с.
6. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. — М. : Высш. шк., 1989. — 528 с.
7. Сибиркина, А. Р. Геохимия с основами агрохимии : курс лекций / А. Р. Сибиркина. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2019. — 287 с.
8. Сибиркина, А. Р. Химия тяжёлых металлов : курс лекций / А. Р. Сибиркина. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. — 167 с.
9. Сибиркина, А. Р. Экотоксикология : курс лекций / А. Р. Сибиркина. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2020. — 278 с.
10. Федоров, Л. А. Диоксины как фундаментальный фактор техногенного загрязнения / Л. А. Федоров // Экол. химия. — 1993. — № 3. — С. 169–189.
11. Федоров, Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспективы и перспективы / Л. А. Федоров ; отв. ред. В. В. Оноприенко ; Рос. АН, Ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского. — М. : Наука, 1993. — 265 с.
12. Филов, В. А. Химические загрязнители окружающей среды, токсикология и вопросы информации / В. А. Филов, Б. А. Ивин // Рос. хим. журнал. — Т. XLVIII. — 2004. — № 2. — С. 4–7.
13. Экологические проблемы: что происходит, кто виноват, что делать : учеб. пособие [для вузов по направлениям «Экология и природопользование», «Защита окружающей среды», специальностям «Экология», «Природопользование»] / Ю. М. Арский, В. И. Данилов-Данильян, М. Ч. Залиханов и др. ; под ред. В. И. Данилова-Данильяна. — М. : Изд-во МНЭПУ, 1997. — 329 с.
14. Экологический словарь [Электронный ресурс]. — URL: [http:// dic.academic.ru/contents.nsf/ecology/](http://dic.academic.ru/contents.nsf/ecology/)

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## ГЛАВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ

Экология располагает обширной аксиоматикой, относящейся ко всем уровням организации природных систем. Некоторые, достаточно общие постулаты, законы, правила экологии опираются на фундаментальные законы естествознания: таковы *начала термодинамики, законы сохранения вещества и энергии, закон минимума диссипации (рассеивания) энергии* Л. Онсагера — И. Пригожина. Среди них есть несколько принципов, важных для понимания поведения экологических систем, их способности к самоподдержанию и авторегуляции.

*Закон больших чисел*: совокупное действие большого числа случайных факторов приводит, при некоторых общих условиях, к результату, почти не зависящему от случая, то есть имеющему *системный характер*.

Случайное, стохастическое (произвольное) поведение большого числа молекул газа в некотором объёме обуславливает определённые значения температуры и давления. Миллиарды бактерий в почве, воде, организмах создают особую, относительно стабильную микробиологическую среду, необходимую для нормального существования живого. Сочетание большого числа случайных актов спроса и предложения формирует относительно постоянный товарооборот и ценообразование свободного рынка.

*Принцип Ле Шателье — Брауна*: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, это равновесие смещается в направлении, при котором эффект внешнего воздействия уменьшается. Первоначально этот закон был установлен для химических процессов, впоследствии стал применяться для описания поведения различных самоподдерживающихся систем. В биологии он реализуется в виде способности экологических систем к авторегуляции. В биосфере механизм осуществления этого принципа основан на функционировании совокупности живых организмов и служит главным регулятором земных процессов.

*Закон В. И. Вернадского о всеобщей связи вещей и явлений в природе и обществе*; связан с законом физико-химического единства живого вещества, законом развития системы за счёт окружающей её среды и законом постоянства количества живого вещества: любая система может развиваться только за счёт использования

---

материально-технических и информационных возможностей окружающей её среды; изолированное саморазвитие невозможно.

Значительное увеличение числа каких-либо организмов за относительно короткий промежуток времени может происходить только за счёт уменьшения других организмов. Это правило распространяется и на число видов организмов. В биосфере тотальность связей проявляется особенно ярко, потому что при материальном единстве жизни живые системы характеризуются наиболее разнообразными, разветвлёнными и интенсивными взаимопереходами вещества, энергии и информации.

Они образуют *экологические сети* взаимосвязей. Богатство связей относится не только к локальным экосистемам. Глобальные круговороты веществ, ветра, океанские течения, реки, трансконтинентальные и трансокеанические миграции птиц и рыб, переносы семян и спор, деятельность человека и влияние антропогенных факторов — всё это связывает пространственно удалённые природные комплексы и придаёт биосфере признаки единой коммуникативной системы.

Густая динамичная сеть связей и зависимостей характерна и для человеческого общества. По сравнению с природой она многократно обогащена за счёт потоков информации. Существуют примеры многоступенчатого усиления изменений в технологических процессах, в производстве.

В экономике всё переплетено, любая оценка зависит от других экономических оценок и в свою очередь оказывает влияние на них. Не следует представлять себе эти закономерности так, будто всё связано со всем отдельно в природе и отдельно в обществе, в экономике. *И природа и общество находятся в одной сети системных взаимодействий.*

Существуют важные для экологии следствия всеобщей связи, закона динамического равновесия и принципа Ле Шателье — Брауна.

*Закон цепных реакций:* любое частное изменение в системе неизбежно приводит к развитию цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведённого изменения или формирования новых взаимосвязей и новой системной иерархии. Поскольку взаимодействие между компонентами системы при их изменении, как правило, существенно нелинейно, то слабое изменение одного из параметров системы может вызвать сильные отклонения других параметров или привести к изменению всей системы в целом.

*Закон оптимальности:* любая система функционирует с наибольшей эффективностью в некоторых характерных для неё пространственно-временных пределах.

*Правило максимального «давления жизни».* В живой природе организмы размножаются с интенсивностью, обеспечивающей максимально возможное их число. Давление жизни ограничено ёмкостью среды, межвидовыми взаимоотношениями, взаимной приспособленностью различных групп организмов. Эту закономерность обозначают как *закон сопротивления среды жизни*, или *закон ограниченного роста Ч. Дарвина*. Ему же принадлежит *экологическая аксиома адаптированности*: каждый биологический вид адаптирован к строго определённой, специфичной для него совокупности условий существования, которая получила название экологической ниши.

*Закон максимизации энергии* (по Юджину и Говарду Одумам) — в соперничестве с другими системами выживает (сохраняется) та из них, которая наилучшим образом способствует поступлению энергии и использует максимальное её количество наиболее эффективным способом. С этой целью система:

- 1) создаёт накопители (хранилища) высококачественной энергии;
- 2) затрачивает определённое количество накопленной энергии на обеспечение поступления новой энергии;
- 3) обеспечивает кругооборот различных веществ;
- 4) создаёт механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и её способность приспособления к изменяющимся условиям;
- 5) налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребности в энергии специальных видов.

Следует заметить, что закон максимизации энергии справедлив и в отношении информации, поэтому его можно рассматривать и как закон максимизации энергии информации: наилучшими шансами на самосохранение обладает система, в наибольшей степени способствующая поступлению, выработке и эффективному использованию энергии и информации. Максимальное поступление вещества как такового не гарантирует успеха системе в конкурентной группе др. аналогичных систем.

*Закон максимума биогенной энергии* (В. И. Вернадского, Э. С. Бауэра) — любая биологическая и «биокожная» система (система с участием живого), находясь в состоянии «устойчивой неравновесности», то есть динамического подвижного равновесия с окружающей её средой, и эволюционно развиваясь, увеличивает своё воздействие на среду.

*Закон(ы) минимума (Ю. Либиха).* *Основной закон:* выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его



---

экологических потребностей, то есть жизненные возможности лимитируют экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму. Дальнейшее их снижение ведёт к гибели организма или деструкции экосистемы.

*Дополнительное правило взаимодействия факторов:* организм в определённой мере способен заменить дефицитное вещество или другой действующий фактор иным функционально близким веществом или фактором (например, одно вещество другим, функционально и химически близким).

*Закон направленности эволюции* — общий ход эволюции всегда направлен на приспособление к геохронологически меняющимся условиям существования и ограничен ими. Закон направленности эволюции вместе с принципом направленности эволюции (Л. Онсагера) объясняет, почему наблюдается закономерное изменение форм живого (направленность доминирует над случайностью, хотя изменчивость в ряде случаев случайна).

*Закон (правило) необратимости эволюции (Л. Долло)* — организм (популяция, вид) не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществлённому в ряду его предков. В экологии закон необратимости эволюции тесно связан с третьим следствием закона внутреннего динамического равновесия. Очевидно, закон необратимости эволюции должен быть распространён на иерархию экологических систем, которые также в эволюционном ряду не могут повторяться хотя бы в силу того, что эволюционно неповторимы организмы, их составляющие.

*Закон необходимого разнообразия* — любая система не может сформироваться из абсолютно одинаковых элементов. Из этого закона вытекает закон неравномерности развития систем, поскольку это один из способов увеличения разнообразия, а также закон (правило) полноты составляющих (компонентов, элементов) системы и правило оптимальной компонентной дополнительности.

*Закон (закономерность) неограниченности прогресса* — развитие от простого к сложному неограниченно. В пределах биологической формы движения материи закон неограниченности прогресса может быть сформулирован как вечное, непрерывное и абсолютно необходимое стремление живого к относительной независимости от условий среды существования. То же наблюдается в рамках социальной формы движения материи.

*Закон неравномерности развития систем, или Закон разновре-  
менности развития (изменения) подсистем в больших системах* —

системы одного уровня иерархии (как правило, подсистемы системы более высокого уровня организации) обычно развиваются не строго синхронно: в то время как одни из них достигли более высокого уровня развития, другие ещё остаются в менее развитом состоянии.

*Закон (закономерность) увеличения оборота вовлекаемых природных ресурсов* — в историческом процессе развития мирового хозяйства быстрота оборачиваемости вовлечённых природных ресурсов (вторичных, третичных и т. п.) непрерывно возрастает на фоне относительного уменьшения объёмов их вовлечения в общественное производство (относительно темпов роста самого производства). Закон указывает на увеличение интенсификации цикличности производства, в этом процессе требуется всё больше энергии для ускорения оборачиваемости вовлечённых природных ресурсов.

*Закон увеличения размеров (роста) и веса (массы) организмов в филогенетической ветви (Копа и Денера)*. «По мере хода геологического времени выживающие формы увеличивают свои размеры, а следовательно, и вес, а затем вымирают». Происходит это потому, что, чем мельче особи, тем труднее им противостоять процессам энтропии (ведущим к равномерности распределения энергии), закономерно организовывать энергетические потоки для осуществления жизненных функций. Эволюционно размер особей поэтому увеличивается. Однако крупные организмы с большой массой требуют для поддержания этой массы значительных количеств энергии, фактически, и пищи. Борьба с энтропией приводит к укрупнению организмов, а это укрупнение вызывает отход от закона оптимальности в большую сторону и, как правило, к вымиранию слишком крупных организмов. Поскольку понятия «крупный» и «мелкий» имеют относительное значение (по отношению к факторам среды), могут вымирать и не гиганты, а лишь организмы, вышедшие за рамки закона оптимальности для данных условий. Закон Копы и Денера может иметь и отрицательный знак, то есть в ряде случаев с ходом геологического времени отдельные формы эволюционно мельчают, что даёт им большие возможности для приспособления к среде обитания. Если они преступают в этом процессе закон оптимальности в меньшую сторону, они или вымирают, или теряют чётко выраженную биологическую форму организации, превращаясь в «полуживые» органические молекулы и их агрегаты типа некоторых вирусоподобных образований.

Закон Копы и Денера объясняет массовое вымирание организмов (например, древнейших пресмыкающихся) весьма незначительными

---

естественными изменениями среды жизни без привлечения каких-либо катастрофических причин. Вместе с тем он даёт ключ к управлению такими экосистемами, которые являются объектами промысла. Так, массовая добыча криля в Мировом океане может сравнительно быстро сделать невозможным существование популяции китов (и так уже разреженной), так как при своих крупных размерах они нуждаются в высокой плотности расселения объектов их питания.

*Закон (принцип) увеличения степени идеальности (Г. В. Лейбница), или «Эффект Чеширского кота» (Льюиса Кэрролла).* Гармоничность отношений между частями системы историко-эволюционно возрастает. Система может сохранять функции при минимизации размеров. Общесистемный принцип, указывающий на то, что человечество, превращаясь в глобальную геологическую силу, неминуемо должно консолидировать свои силы, перейти от конфронтации к сотрудничеству (что даёт переход от экстенсивного к интенсивному росту качества). В технике этот принцип обуславливает тенденцию к миниатюризации габаритов устройств с сохранением (и развитием) их функциональной значимости. Пример из природы — генетический код составлен всего из четырёх элементов, дающих практически неисчерпаемые разнообразия.

*Закон упорядоченности заполнения пространства и пространственно-временной определённости.* Заполнение пространства внутри природной системы в силу взаимодействия между её подсистемами упорядоченно таким образом, что позволяет реализоваться гомеостатическим свойствам системы с минимальными противоречиями между частями внутри неё. Из этого закона следует невозможность длительного существования (ненужных) случайностей в природе, в том числе созданных человеком. Нарушение естественной упорядоченности заполнения пространства в природных системах в ходе их использования требует дополнительных средств и сил для их поддержания в продуктивном состоянии.

*Закон ускорения эволюции* — скорость формообразования с ходом геологического времени увеличивается, а средняя длительность существования внутри более крупной систематической категории снижается; или: более высокоорганизованные формы существуют меньше время, чем более низкоорганизованные. Закон ускорения эволюции, как и все подобные обобщения, не абсолютен, а вероятен. Его использование целесообразно в периоды между временными

интервалами очевидного действия принципа катастрофического толчка, когда эволюция резко убыстряется. Ускорение эволюции предполагает и более быстрое исчезновение видов, их вымирание и т. п.

*Закон биогенной миграции атомов (В. И. Вернадского).* Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере осуществляется при непосредственном участии живого вещества — биогенная миграция. Она также протекает в среде, геохимические особенности которой ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ) обусловлены живым существом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории.

*Закон внутреннего динамического равновесия.* Вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархия связаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств систем, где эти изменения происходят или в их иерархии.

Эмпирические следствия этого закона:

1. Любое изменение среды (вещества, энергии, информации, динамических качеств экосистем) неизбежно приводит к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации производственного изменения или формирования новых природных систем, образование которых при значительных изменениях среды может принять необратимый характер.

2. Взаимодействие вещественно-энергетических экологических компонентов: энергии, газов, жидкости, субстратов, организмов продуцентов, консументов и редуцентов; информации и динамических качеств природных систем — количественно и нелинейно. Слабое воздействие или изменение одного из показателей может вызвать сильное отклонение в других (и во всей системе в целом).

3. Производимые в крупных экосистемах перемены относительно необратимы, проходя по иерархии снизу вверх — от места воздействия до биосферы в целом, они меняют глобальные процессы и тем самым переводят их на новый эволюционный уровень.

4. Любое местное преобразование природы вызывает в глобальной совокупности биосферы и в её крупнейших подразделениях ответные реакции, приводящие к относительной неизменности эко-

---

лого-экономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путём возрастания энергетических вложений. Искусственный рост эколого-экономического потенциала ограничен термодинамической устойчивостью природных систем.

*Закон генетического разнообразия.* Всё живое генетически различно и имеет тенденцию к увеличению биологической разнородности. Двух генетически абсолютных особей (кроме однойцовых близнецов, немутуирующих клонов, вегетативных линий и немногих других исключений), а тем более видов живого в природе быть не может.

*Закон геогенетический* (Д. В. Руенквиста). Минералогические процессы в короткие интервалы времени как бы повторяют (в изменённом виде, со своим «акцентом») общую историю геологического развития, или, другими словами, геологические процессы развития однонаправлены во всех масштабах геоэволюции. Различают восемь масштабов геоэволюции:

- общая эволюция Земли — миллиарды лет;
- эволюция в рамках геологического мегацикла — сотни миллионов — 1 млрд лет;
- эволюция в ходе развития тектоно-магматического цикла — десятки — сотни миллионов лет;
- эволюция процессов становления генетически взаимосвязанной серии магматических пород и связанной с ними минерализации — миллионы — десятки миллионов лет;
- эволюция процессов становления интрузивного комплекса и связанной с ним минерализации — сотни тысяч — немногие миллионы лет;
- эволюция этапов минерализации в ходе формирования месторождений — десятки — сотни тысяч лет;
- эволюция внутри стадий минерализаций — тысячи — десятки тысяч лет;
- эволюция внутри ритмов минерализации — тысяча лет и меньше.

В силу общественного закона ускорения и эволюции длительность всё более молодых её периодов закономерно сокращается. Этот закон важен для понимания формирования полезных ископаемых и их целенаправленного поиска.

*Закон геохимический основной* (В. М. Гольдшмидта). Абсолютные количества химических элементов, то есть кларки химических элементов зависят от строения атомных ядер; распределение элементов, связанное с их миграцией, — от наружных электронов. Кларки

элементов в земной коре зависят как от структуры атомного ядра, так и от строения электронных оболочек, определяющих химические свойства атомов, но ведущая роль всё же принадлежит ядерным свойствам — устойчивости ядер атомов, содержанию в них небольшого чётного числа протонов и нейтронов, особенно кратное. Миграция элементов зависит также от всего строения атома, электронная структура играет при этом ведущую роль. В первоначальной формулировке закон геохимический основной справедлив лишь для космоса в целом.

*Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости* (Н. И. Вавилов):

Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости.

Целые семейства растений в общем характеризуются определённым циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство. В современной формулировке: «Родственные виды, роды, семейства и т. д. обладают гомологичными генами и порядками генов в хромосомах, сходство которых тем полнее, чем эволюционно ближе сравниваемые таксоны. Гомология генов у родственных видов проявляется в сходстве рядов их наследственной изменчивости». Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости важен как предпосылка для формулирования системы периодического закона и понимания эколого-классификационных закономерностей в формировании природных систем, их биогеографического районирования. Гомологические ряды, аналогичные генетическим, имеются и среди экосистем, сформировавшихся в сходных условиях существования.

*Закон естественно-исторический*. Внутренняя устойчивая связь явлений природы, обуславливающая их существование и развитие: необходимое, существенно, устойчиво повторяющееся отношение между явлениями: направленность или порядок следования событий во времени. Закон естественно-исторический может быть менее общим, действующим в ограниченной области, более общим и всеобщим, универсальным.

*Закон константности* (В. И. Вернадского). Количество живого вещества биосферы (для данного геологического периода) есть кон-

---

станта. Закон константности тесно связан с законом внутреннего динамического равновесия, являясь количественным выражением для масштабов всей биосферы Земли. Согласно, закону константности, любое изменение количества живого вещества в одном из регионов биосферы неминуемо влечёт за собой такую же по размеру его перемену в каком-либо регионе, но с обратным знаком. Полярные изменения могут быть использованы в процессах управления природой, но следует учитывать, что не всегда происходит адекватная замена. Обычно высокоразвитые экосистемы вытесняются другими, стоящими на относительно эволюционно (для экосистем — сукцессионно) более низком уровне (и крупные организмы более мелкими), а полезные для человека формы — менее полезными, нейтральными или даже вредными. Следствием из закона константности является правило *обязательного заполнения экологических ниш*, а косвенно и *принцип заключения* (Г. Ф. Гаузе).

*Закон корреляции* (Ж. Кювье). В организме, как целостной системе, все его части соответствуют друг другу как по строению (закон соподчинения органов), так и по функциям (закон соподчинения функций). Изменение одной части организма или отдельной функции неизбежно влечёт за собой изменение других частей и функций. Для экологии закон корреляции имеет значение как аналог и смысловая предпосылка для формулирования *Закона экологической корреляции* и *Закона внутреннего динамического равновесия*.

*«Зелёная» экономика — особая модель экономики*. Старая «модель ресурсоёмкой экономики» приведёт к увеличению расходов и снижению производительности. Продолжающиеся до сих пор кризисы являются показателями этой модели и, наконец, образуют идею новой модели «зелёной экономики», в которой материальное благополучие не обеспечивается неизбежно за счёт увеличивающихся экологических рисков, экологических дефицитов и социального неравенства.

В рамках Конференции Рио+20 государства согласились создать концепцию «зелёной» экономики как важный инструмент устойчивого развития. Концепция «зелёной» экономики — это модель, которая ведёт к улучшению здоровья и социальной справедливости населения, а также к значительному снижению опасных воздействий на окружающую среду и к снижению экологического дефицита. Таким образом, «зелёная» экономика, в её простейшей форме, может рассматриваться как низкоуглеродная, ресурсосберегающая и социально инклюзивная модель экономики.

Концепция «зелёной экономики» не заменяет концепцию устойчивого развития, но наблюдается широкое признание того, что достижение устойчивости почти полностью основывается на получении экономического права.

Большинство интерпретаций «зелёной» экономики признают, что экосистемы, экономика, благополучие населения и связанные с ними виды капитала тесно связаны между собой.

Программа Организации Объединённых Наций по охране окружающей среды (UNEP) определяет «зелёную» экономику как инструмент, приводящий к повышению благосостояния людей и социального равенства и значительно снижающий неблагоприятное воздействие на окружающую среду и риски экологической деградации.

ОЭСР разработала и ввела концепцию «зелёного роста», определив её как максимальное обеспечение экономического роста и развития, не оказывающее воздействия на количество и качество природных активов и использующее потенциал роста, который возникает при переходе к «зелёной» экономике. То есть «зелёный рост» — это рост ВВП, который подчиняется «зелёным» условиям и делает упор на «зелёные» секторы как на новые двигатели роста.

«Зелёный» рост представляет собой как проблему, так и возможность для рынка труда, который, в свою очередь, является основным фактором возможного «зелёного» роста. Динамика ответных мер, и хорошее функционирование рынков труда играют ключевую роль в облегчении перехода к «зелёной» и ресурсоэффективной экономике. Переход к устойчивой экономике приводит к изменениям, некоторые из них довольно серьёзные, в структурах трудоустройства и в профессиональных профилях рабочих.

*Основные принципы «зелёной» экономики UNEP:* справедливость и объективность, как в рамках одного поколения, так и между поколениями; согласованность с принципами устойчивого развития; превентивный подход к социальным воздействиям и воздействиям на окружающую среду; оценка природного и социального капитала, например, интернационализации внешних расходов, зелёного учёта, расходов на протяжении всего срока эксплуатации и совершенствования управления; устойчивое и эффективное использование ресурсов, потребление и производство; потребность в достижении существующих макроэкономических целей посредством создания «зелёных» рабочих мест, искоренения нищеты, повышения конкурентоспособности и роста в ключевых секторах.



---

Национальный проект «Экология». Источник финансирования: смешанный. Бюджет: 4 041 000 000 000 р. Год начала: 2018. Год окончания: 2024. Паспорт нацпроекта «Экология» утверждён 24.12.2018.

Цели проекта:

– эффективное обращение с отходами производства и потребления, включая ликвидацию всех выявленных на 1 января 2018 г. несанкционированных свалок в границах городов;

– кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах, в том числе уменьшение не менее чем на 20 % совокупного объёма выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в наиболее загрязнённых городах;

– повышение качества питьевой воды для населения, в том числе для жителей населённых пунктов, не оборудованных современными системами централизованного водоснабжения;

– сохранение биологического разнообразия, в том числе посредством создания не менее 24 новых особо охраняемых природных территорий;

– обеспечение баланса выбытия и воспроизводства лесов в соотношении 100 % к 2024 г.

Задачи проекта:

– формирование комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами, включая ликвидацию свалок и рекультивацию территорий, на которых они размещены, создание условий для вторичной переработки всех запрещённых к захоронению отходов производства и потребления;

– создание и эффективное функционирование во всех субъектах РФ системы общественного контроля, направленной на выявление и ликвидацию несанкционированных свалок;

– создание современной инфраструктуры, обеспечивающей безопасное обращение с отходами I и II классов опасности, и ликвидация наиболее опасных объектов накопленного экологического вреда;

– реализация комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в крупных промышленных центрах, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Читу, с учётом сводных расчётов допустимого в этих городах негативного воздействия на окружающую среду.

- Федеральные проекты национального проекта «Экология»:*
- Сохранение лесов; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Оздоровление Волги; сроки реализации: 20.12.2018–25.12.2024.
  - Комплексная система обращения с твёрдыми коммунальными отходами; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Внедрение наилучших доступных технологий; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма; сроки реализации: 01.08.2018–31.12.2024.
  - Сохранение уникальных водных объектов; сроки реализации: 10.01.2018–25.12.2024.
  - Чистая вода; сроки реализации: 01.01.2018–25.12.2024.
  - Чистый воздух; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Чистая страна; сроки реализации: 01.10.2018–31.12.2024.
  - Сохранение озера Байкал; сроки реализации: 01.01.2018–31.12.2024.

*Учебное издание*

ЛИХАЧЕВ Сергей Федорович  
СИБИРКИНА Альфира Равильевна

## **ЭКОЛОГИЯ**

*Курс лекций*

Корректурa и вёрстка *М. В. Трифонової*  
Дизайн обложки *Е. С. Меньшениной*

Подписано в печать 03.05.23.  
Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 11,9. Уч.-изд. л. 11,3.  
Тираж 100 экз. Заказ 251

Челябинский государственный университет  
454001, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Отпечатано в издательстве  
Челябинского государственного университета  
454021, Челябинск, ул. Молодогвардейцев, 576