

БАКАЛАВРИАТ И СПЕЦИАЛИТЕТ

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

М. П. Грушко, Э. И. Мелякина
И. В. Волкова, В. Ф. Зайцев



www.e.lanbook.com



**ЭБС
ЛАНЬ**

М. П. ГРУШКО, Э. И. МЕЛЯКИНА,
И. В. ВОЛКОВА, В. Ф. ЗАЙЦЕВ

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издание второе, стереотипное



• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА • КРАСНОДАР •
• 2021 •

ББК 20.1я73

Г 91

**Грушко М. П., Мелякина Э. И.,
Волкова И. В., Зайцев В. Ф.**

Г 91 Прикладная экология: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2021. — 268 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-2591-4

Экологические проблемы в настоящее время стали одними из самых острых. В решении экологических проблем велика роль подготовки кадров, имеющих экологическое образование.

Издание данного пособия вызвано необходимостью удовлетворить потребности при подготовке студентов инженерных специальностей.

Пособие соответствует требованиям действующего образовательного стандарта высшего образования для направлений технического профиля. Содержит теоретический материал, который включает раздел общей и прикладной экологии, а также ряд практических заданий и вопросов.

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки и специальностей, входящих в УГС: «Химические технологии», «Промышленная экология и биотехнологии», «Техносферная безопасность и природообустройство», и других технических направлений подготовки и специальностей, а также для преподавателей и всех специалистов, интересующихся современными экологическими проблемами.

ББК 20.1я73

Рецензенты:

М. А. ЕГОРОВ — доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой биотехнологии, зоологии и аквакультуры Астраханского государственного университета;

С. В. ЗОЛОТОКОПОВА — доктор технических наук, профессор кафедры инженерной экологии и природообустройства Астраханского государственного технического университета.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

*Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
запрещается без письменного разрешения издателя.*

*Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.*

© Издательство «Лань», 2021

© Коллектив авторов, 2021

© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 6 |
| 1. Экология | 7 |
| 1.1. Предмет экологии | 7 |
| 1.2. История экологии | 8 |
| 1.3. Экология в системе естественных наук и ее структура | 11 |
| 2. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ | |
| 2.1. Организм как живая целостная система | 13 |
| 2.1.1. Структурная организация живых систем | 12 |
| 2.1.2. Энергообеспечение клеток | 13 |
| 2.1.3. Классификация живых организмов | 14 |
| 2.2. Экология особи | 17 |
| 2.2.1. Понятие о среде обитания и экологических факторах | 17 |
| 2.2.2. Концепция лимитирующих факторов | 29 |
| Практическая работа | 36 |
| 2.3. Экология популяций | 38 |
| 2.3.1. Структура и динамика популяций. Понятие о популяции | 38 |
| 2.3.2. Стратегии выживания | 51 |
| Практическая работа | 52 |
| 2.4. Экология сообществ биоценоз и экосистем | 54 |
| 2.4.1. Понятие о биоценозе | 54 |
| 2.4.2. Структура биоценоза | 55 |
| 2.4.3. Экологическая ниша вида | 61 |
| 2.4.4. Понятие об экосистемах | 62 |
| 2.4.5. Пищевые цепи и пищевая сеть | 64 |
| Практическая работа | 75 |
| 2.5. Биосфера | 77 |
| 2.5.1. Биосфера как одна из оболочек Земли | 77 |
| 2.5.2. Состав и границы биосферы | 80 |
| 2.5.3. Круговорот веществ в природе | 86 |
| 2.5.4. Эволюция биосферы | 95 |

| | |
|---|-----|
| 2.5.5. Учение о ноосфере | 101 |
| Практическая работа | 104 |
| 2.6. Человек и устойчивость биосферы | 106 |
| 2.6.1. Последствия антропогенного воздействия на биосферу | 106 |
| 2.6.2. Нарушение законов функционирования природных экосистем деятельностью человека | 107 |
| 2.6.3. Антропогенное энергопотребление как критерий устойчивости биосферы. | 120 |
| 2.6.4. Народонаселение и устойчивость биосферы | 122 |
| 2.6.5. Рост уровня производства и неравномерность потребления как фактор нарушения устойчивости | 125 |
| 2.6.6. Концепция устойчивого развития и перспективы ее реализации | 126 |
| 2.6.7. Стратегия поведения человечества в условиях глобального экологического кризиса | 128 |
| 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ | 131 |
| 3.1. Антропогенное загрязнение биосферы. Глобальные экологические проблемы | 131 |
| 3.1.1. Воздействие на атмосферу | 131 |
| 3.1.2. Воздействие на гидросферу | 142 |
| 3.1.3. Воздействие на литосферу | 147 |
| 3.2. Управление качеством окружающей среды | 151 |
| 3.2.1. Нормирование качества окружающей среды | 151 |
| 3.2.2. Охрана атмосферы | 162 |
| 3.2.3. Охрана гидросферы | 167 |
| 3.2.4. Охрана литосферы | 179 |
| 3.3. Экологический мониторинг | 182 |
| 3.4. Экологические аспекты здоровья | 187 |
| 3.4.1. Экологическая медицина, экопатология | 187 |
| 3.4.2. Опасность загрязнения окружающей среды | 189 |
| 3.4.3. Загрязнение продуктов питания | 193 |
| Практические работы | 198 |
| 4. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРАВА | 220 |
| 4.1. Понятие и определение экологического права | 220 |

| | |
|---|-----|
| 4.2. Формы экологического управления и контроля в Российской Федерации | 250 |
| 4.3. Международные экологические отношения | 251 |
| ЛИТЕРАТУРА | 255 |
| ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ – МИНИМУМ | 258 |

Предисловие

Экологические проблемы в настоящее время стали одними из самых острых. Вмешательство человека во все сферы природы вызывает резкое ухудшение состояния экологических систем, нередко даже гибель уникальных природных комплексов, сокращение и исчезновение популяций отдельных видов растений и животных, опасность необратимых изменений в структурах географических сфер, которые могут привести к непрогнозируемым отрицательным последствиям. В решении экологических проблем велика роль подготовки кадров, имеющих экологическое образование.

Издание данного пособия вызвано необходимостью удовлетворить в нем потребности в учебном заведении при подготовке студентов инженерных специальностей.

Пособие соответствует требованиям действующего Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и программе, рекомендованной Минобразования РФ для специальностей технического профиля.

Содержит теоретический материал, который включает раздел общей и прикладной экологии, а также ряд практических заданий и вопросов.

При подготовке пособия широко использованы материалы учебников и учебных пособий отечественных и зарубежных авторов.

1. ЭКОЛОГИЯ

1.1. Предмет экологии

Цивилизация и природа

Экология — это наука, изучающая взаимоотношения организмов между собой и с окружающей средой.

Существование цивилизации на нашей планете неразрывно связано с природными условиями. Она возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства и орудия, позволявшие ему изменять среду обитания. Экология приобрела практический интерес уже на заре человечества. Первобытный человек, борясь за выживание, должен был иметь определенные знания о видах животных, их повадках, местах обитания.

На протяжении тысячелетий человек пытался покорить природу, но только недавно осознал, что Земля — не более чем «космический корабль» с ограниченными ресурсами. Нерачительное их использование и загрязнение окружающей среды могут сделать невозможной жизнь последующих поколений.

Появившись на планете, человек на всех стадиях развития влиял на среду обитания сначала как просто биологический вид, затем как охотник, имеющий специальные орудия, позволяющие уже в эпоху Великих оледенений воздействовать на видовой и численный состав животных. Выжигая леса, собирая съедобные виды растений, он влиял на природу через усиление естественно идущих процессов и формирование антропогенных ландшафтов. Развитие земледелия, скотоводства привело к росту общин и возникновению первых крупных поселений, способствовало прогрессу в изготовлении орудий труда. За 2 тыс. лет до н. э. в Египте и Месопотамии человек создал грандиозные оросительные системы, принципиально изменившие окружающий мир.

Происходившие в результате хозяйственной деятельности изменения природных условий тогда еще не были велики и носили локальный характер. Тем не менее они вели к эрозии почв, их засолению, опустыниванию, а в конечном итоге к региональным экологическим кризисам и исчезновению цивилизаций, их создавших.

Возникшие на заре цивилизации города первоначально хорошо «вписались» в природную среду, несмотря на то, что по числу населения многие города древности (Фивы, Вавилон, Рим) вполне сопоставимы с современными. Так, согласно переписи населения Рима,

проведенной в 14 г. н. э. императором Августом, в городе проживали 4 млн 937 тыс. человек.

Создавая первые города, человек еще неосознанно понимал необходимость соблюдения определенных санитарных норм. Первая из известных сегодня систем городской канализации появилась в III—II тысячелетиях до н. э. в Индии. В Риме был построен водопровод, действовала система канализации. После падения Римской империи в 400-х годах н. э. в городах государств, образовавшихся на ее развалинах, вплоть до XIII—XIV вв. царила антисанитария, ибо необходимые знания были утрачены.

Техническая революция, начавшаяся в конце XVIII в., привела к тому, что последствия деятельности человека стали сопоставимы с природными явлениями.

1.2. История экологии

«Экологически» мыслили, т. е. видели связь между живыми организмами и окружающей средой, ученые Древней Греции и Рима. Экология как наука начала формироваться конце XVIII в., и то сначала как один из разделов зоологии.

Развитие классической биологии долгое время шло по пути изучения морфологических и функциональных особенностей организмов в их единстве с условиями существования. Предысторией современной экологии являются труды натуралистов и географов XVIII—XIX вв. Первые представления о биосфере как области жизни и оболочке Земли даны Ж. Б. Ламарком (1744–1829) в труде «Гидрология». Термин «биосфера» впервые ввел в научный обиход в 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс (1831–1914), в работах которого биосферу понимали как тонкую пленку жизни на земной поверхности, в значительной мере определяющую лик Земли.

Существенной вехой в развитии науки об образе жизни различных живых организмов является труд Т. Мальтуса (1798), в котором приведены уравнения экспоненциального роста популяций как основы демографических концепций. Несколько позже П. Ф. Ферхюльст предложил уравнение «логистического». Эти работы обосновали представления о динамике численности популяций. Тогда же в трудах врача В. Эдвардса, философа О. Конта и биолога И. И. Мечникова было положено начало экологии человека. Социальные аспекты экологии человека отражены в трудах О. Конта, Д. Милля и Г. Спенсера, а также американских социологов Р. Парка и Е. Берджеса.

В России заслуга в формировании основных положений экологии и экологического мировоззрения принадлежит профессору Московского университета Карлу Францевичу Рулье (1814–1858). Еще до выхода в свет труда Э. Геккеля он сформулировал основной принцип взаимоотношений организма и среды, названный им «Законом двойственности жизненных начал». Им же обозначены проблемы изменчивости, адаптации, миграций и влияния человека на природу. К. Рулье в своих лекциях и печатных трудах обсуждал взаимодействие организмов со средой с позиций, близких дарвиновским.

Во второй половине XVIII в. благодаря многочисленным экспедиционным исследованиям флоры и фауны (работы А. Гумбольдта, А. Уоллеса, Ф. Скеттера) в виде отдельной науки начала оформляться биогеография, позже ставшая одной из основ современной экологии. В России ее развитие связано с трудами К. М. Бэра, Н. А. Северцова и др.

Во второй половине XIX — начале XX вв. большое внимание уделяли изучению влияния отдельных факторов (главным образом климатических) на распространение и динамику организмов. К догеккелевскому периоду развития экологии относят, в частности, работы ученого-агронома Ю. Либиха, который сформулировал известный закон минимума.

Термин «**экология**» (от греч. *oikos* — дом, родина и *logos* — учение) впервые введен в 1866 г. немецким биологом, профессором Иенского университета Э. Геккелем (1834–1919). В своем труде «Всеобщая морфология» (1866) он писал: «Экология — это познание экономики природы, одновременное исследование взаимоотношений всего живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая антагонистические и неантагонистические отношения животных и растений, контактирующих друг с другом». Преимущественно экология изучает живые системы с уровнем организации от организма и выше.

Труд Геккеля построен на громадном фактическом материале, накопленном классической биологией, и главным образом посвящен тому направлению, которое сейчас называют *аутэкологией*, или экологией отдельных видов. Кроме того, в трудах Геккеля прослеживается еще одно важное обстоятельство — понимание экологии как «экономики природы». С этого времени экология из раздела биологии превращается в междисциплинарную науку, охватывающую многие области знаний.

В XX в. в рамках экологии сформировалось самостоятельное направление физиологии, посвященное исследованию механизмов адаптации. В нашей стране представителями этого направления, достигнувшего расцвета в 60–70-х годах XX столетия, были Н. И. Калабухов, А. Д. Слоним, а в последние годы — акад. И. А. Шилов.

В 1927 г. Ч. Элтон выпустил первый учебник-монографию об экологии. В нем было описано своеобразие биоценотических процессов, дано понятие экологической ниши, обосновано «правило экологических пирамид», сформулированы принципы популяционной экологии. Вскоре были предложены математические модели роста численности популяций и их взаимодействия (В. Вольтерра, А. Лотка), проведены лабораторные опыты по проверке этих моделей (Г. Ф. Гаузе). Таким образом, в 20–30-е годы сформировалось направление экологии популяций, в 30-е годы — понятие экосистемы. Его введение связывают с работами А. Тенсли (1935). Под экосистемой понимали совокупность организмов и неживых компонентов среды их обитания, при взаимодействии которых происходит более или менее полный биотический круговорот (с участием продуцентов, консументов и редуцентов). В то же время продолжались широкие количественные исследования функциональных особенностей различных экосистем — их структуры, продуктивности, условий их устойчивости, трофических связей в экосистемах.

В начале 40-х годов В. Н. Сукачев (1880–1967) обосновал концепцию биогеоценоза, имевшую большое значение для развития теоретической базы экологии. В 50-е годы сформировалась общая экология, основное внимание в которой уделяется изучению взаимодействия организмов и структуры образуемых ими систем. К 70-м годам XX в. сложились направления, называемые «физиологической» и «эволюционной» экологией. В наши дни получили развитие «количественная» экология и математическое моделирование биосферных и экосистемных процессов.

Изучение общепланетарных процессов развернулось после выхода в свет в 1926 г. книги В. И. Вернадского «Биосфера», где рассмотрены свойства «живого вещества» и его функции в формировании как современного лика Земли, так и всех сред жизни на планете (водной, почвенной и воздушной). Предшественником и единомышленником В. И. Вернадского был В. В. Докучаев (1846–1903), создавший учение о почве как о естественно-историческом теле.

1.3. Экология в системе естественных наук и ее структура

Современная экология — это фундаментальная наука о природе, являющаяся комплексной и объединяющая знание основ нескольких классических естественных наук: биологии, геологии, географии, климатологии, ландшафтоведения и др. Согласно основным положениям этой науки, человек является частью биосферы как представитель одного из биологических видов и так же, как и другие организмы, не может существовать без биоты, т. е. без совокупности живущих ныне на Земле биологических видов, которые и составляют среду обитания человечества.

В наше время термином «экология» все чаще обозначают совокупность взаимоотношений природы и общества. Рассматривая структуру современной экологической науки, можно выделить три основные ветви экологии.

Первая ветвь. Общая экология, или биоэкология, — это изучение взаимоотношений живых систем разных рангов (организмов, популяций, экосистем) со средой и между собой. Эту часть экологии в свою очередь подразделяют на следующие разделы:

- аутэкологию, т. е. изучение закономерности взаимоотношений организмов отдельного вида со средой обитания;
- демэкологию, или экологию популяций;
- синэкологию, т. е. экологию сообществ;
- экосистемную и биосферную экологию.

Вторая ветвь. Геоэкология — это изучение геосфер, их динамики и взаимодействия, геофизических условий жизни, факторов (т. е. ресурсов и условий) неживой окружающей среды, действующей на организмы.

Третья ветвь. Прикладная экология — это аспекты инженерной, социальной, экономической охраны среды обитания человека, проблем взаимоотношений природы и общества, экологических принципов охраны природы.

2. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

2.1. Организм как живая целостная система

2.1.1. Структурная организация живых систем

Окружающий нас мир живых организмов биосферы представляет собой сочетание различных биологических систем разной структурной упорядоченности и разного организационного положения. В связи с этим выделяют разные уровни существования живого вещества — от крупных молекул до растений и животных различных организаций.

1. Молекулярный (генетический) — первый уровень, на котором биологическая система проявляется в виде функционирования биологически активных крупных молекул — белков, нуклеиновых кислот, углеводов. С этого уровня наблюдаются свойства, характерные исключительно для живой материи: обмен веществ, протекающий при превращении лучистой и химической энергии, передача наследственности с помощью ДНК и РНК. Этому уровню свойственна устойчивость структур в поколениях.

2. Клеточный — уровень, на котором биологически активные молекулы сочетаются в единую систему. В отношении клеточной организации все организмы подразделяются на одноклеточные и многоклеточные.

3. Тканевый — уровень, на котором сочетание однородных клеток образует ткань. Он охватывает совокупность клеток, объединенных общностью происхождения и функций.

4. Органный — уровень, на котором несколько типов тканей функционально взаимодействуют и образуют определенный орган.

5. Организменный (онтогенетический) — уровень, на котором взаимодействие ряда органов сводится в единую систему индивидуального организма. Начинается с зиготы (оплодотворенной яйцеклетки) и заканчивается смертью. Представлен определенными видами организмов.

6. Популяционно-видовой, где существует совокупность определенных однородных организмов, связанных единством происхождения, образом жизни и местом обитания. На этом уровне происходят элементарные эволюционные изменения в целом.

7. Биоценоз и биогеоценоз (экосистема) — более высокий уровень организации живой материи, объединяющий разные по видовому составу организмы. В биогеоценозе они взаимодействуют друг с

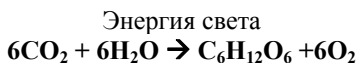
другом на определенном участке земной поверхности с однородными абиотическими факторами.

8. Биосферный — уровень, на котором сформировалась природная система наиболее высокого ранга, охватывающая все проявления жизни в пределах нашей планеты. На этом уровне происходят все круговороты вещества в глобальном масштабе, связанные с жизнедеятельностью организмов.

Таким образом, все уровни организации жизни находятся в сложном взаимодействии как части единого целого. Экология изучает уровни биологической организации от организма.

2.1.2. Энергообеспечение клеток

Жизнь рассматривается как процесс непрерывного извлечения некоторой экологической системой энергии из окружающей среды, преобразования и рассеивания этой энергии при передаче от одного пищевого звена к другому. Поступающая энергия требуется для осуществления жизненно важных процессов, но в первую очередь для химического синтеза веществ, используемых для построения и восстановления структур клетки и организма. Живые существа способны использовать только два вида энергии — световую (энергию излучения солнца) и химическую (энергию связей химических соединений, содержащихся в пище). Этот признак и разделил живые организмы на фототрофы и хемотрофы. Солнечную энергию способны непосредственно использовать только клетки зеленых растений, одноклеточных водорослей, зеленых и пурпурных бактерий. За счет этой энергии они синтезируют органические соединения: углеводы, жиры, белки, нуклеиновые кислоты и др. Такой биосинтез, который происходит благодаря энергии света, и называют фотосинтезом. Зеленый цвет фотосинтезирующих клеток зависит от наличия в них хлорофилла. Исходными веществами для фотосинтеза служат CO_2 и H_2O .



Часть синтезируемой при фотосинтезе глюкозы является источником энергии для всех следующих процессов жизнедеятельности растения, в том числе его роста.

Таким образом, планетарная роль растений и иных фотосинтезирующих организмов чрезвычайно велика: 1) они превращают энергию солнечного света в энергию химических связей органических со-

единений. Последняя используется всеми остальными живыми существами планеты; 2) они поставляют в атмосферу кислород, который служит для окисления (органических веществ и извлечения при помощи этого запасенной в них химической энергии аэробными клетками); наконец, некоторые виды растений в содружестве с азотфиксирующими бактериями переводят атмосферный азот в состав молекул аммиака, его солей и органических азотсодержащих соединений.

Сложные органические вещества для построения своих тел создают не только зеленые растения, но и бактерии (серобактерии, нитрифицирующие бактерии), которые не содержат хлорофилла. Этот процесс — хемосинтез — осуществляется благодаря энергии, выделяющейся при химических реакциях окисления различных неорганических соединений (например, за счет соединений серы).

Хемосинтез — синтез органических соединений из неорганических веществ с использованием химической энергии, выделяющейся в реакциях окисления неорганических веществ.

Хемосинтез открыл известный русский микробиолог С.Н. Виноградский в 1887 г.

Например, нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак до азотистой кислоты:



2.1.3. Классификация живых организмов

Систематика — это часть ботаники и зоологии, изучающая разнообразие форм живого. Систематика даёт научные названия организмам, оценивает черты сходства и различия между ними. Важной частью систематики является таксономия, целью которой является разделение организмов на группы (таксоны) и расположение этих групп в порядке, отражающем их родственные связи и иерархию. Существует несколько методов определения относительного положения таксона в системе.

Основными таксонами являются царство, тип (отдел), класс, отряд (порядок), семейство, род, вид. Каждая предыдущая группа в этом списке объединяет несколько последующих (так, семейство объединяет несколько родов и, в свою очередь, принадлежит к какому-либо отряду или порядку). По мере перехода от высшей иерархической группы к низшей степень родства возрастает. Для более детальной классификации используются вспомогательные единицы, названия которых образуются прибавлением к основным единицам приставок «над-» и «под-», например, надцарство, подвид.

В 1969 году Робертом Уиттекером была предложена система пяти царств (рис.2.1). Прокариоты у него по-прежнему объединены в одно царство Monera. Прimitивные эукариоты, не имеющие тканевой дифференциации (простейшие, водоросли, слизевики), объединены в царство Protista. Всё, что осталось от растений (мхи, папоротники и семенные растения), составило царство Plantae, все высшие классы грибов — царство Fungi, все многоклеточные животные — царство Animalia.

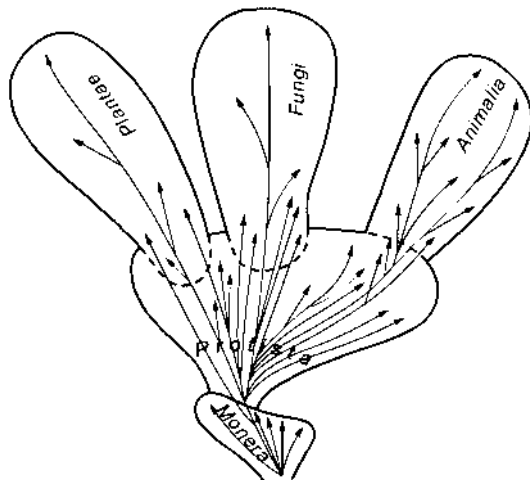


Рис.2.1. Система пяти царств Уиттекера

Все живые организмы биосферы подразделяются на четыре царства: прокариоты (доядерные) и эукариоты (животные, грибы и растения).

Прокариоты — это простейшие организмы, клетки которых не имеют истинного ядра. К ним относятся бактерии и сине-зеленые водоросли.

Животные, грибы и растения в своих клетках содержат настоящие ядра, которые отделены от цитоплазмы ядерной мембраной. Вследствие этого они выделены в надцарство эукариотов (ядерных).

По отношению к кислороду, присутствующему в среде, все животные делятся на аэробные (жизнедеятельность возможна только при наличии свободного кислорода) и анаэробные (обитают без кислорода).

Все разнообразие видов живых организмов биосферы связано между собой через питание. При этом различают автотрофы, гетеротрофы и миксотрофы.

Автотрофы — организмы, получающие все нужные им для жизни химические элементы из окружающей косной материи и не нуждающиеся в готовых органических соединениях другого организма для построения собственного тела. Основным источником энергии, используемый автотрофами, — Солнце. Их называют продуцентами, а биомассу, создаваемую ими, первичной.

Среди автотрофов выделяют фотоавтотрофы (используют в качестве источника энергии солнечный свет) и хемотрофы (используют энергию, выделяющуюся при окислении органических веществ).

Гетеротрофы — это организмы, использующие для своего питания готовые органические вещества. Среди гетеротрофов выделяют три группы организмов: убивающие объект питания (хищники); питающиеся за счет других организмов, но не убивающие их (паразиты, кровососы); питающиеся отмершей органикой (сапрофиты). Гетеротрофные организмы выполняют в экологических системах роль консументов (к ним относят всех животных, часть микроорганизмов, паразитических и насекомоядных растений) и редуцентов (главным образом грибы и бактерии). Последние в процессе своего питания превращают пищу — органические остатки — в неорганические вещества, возвращая т.о. их в биосферу. Биомассу, которую образуют гетеротрофы, называют вторичной. Продуценты (автотрофы) — это те же фитоценозы, которые являются автотрофными организмами, то есть вырабатывающие органическое вещество в процессе фотосинтеза и питающиеся неорганическими соединениями. Консументы (гетеротрофы) — это все зооценозы, питающиеся органической пищей. Редуценты — гетеротрофные организмы, получающие энергию либо путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества, выделяющегося самопроизвольно или извлеченного сапрофитами из растений и других организмов. Наконец, существуют организмы со смешанным типом питания — миксотрофы (сине-зеленые водоросли и растения-паразиты).

2.2. Экология особи

2.2.1. Понятие о среде обитания и экологических факторах

Под экологией особи (аутэкологией) обычно понимают воздействие на вид абиотических и иных факторов среды, определяющих границы его распространения. Сюда же относят многочисленные исследования по физиологической экологии, изучающие протекание процессов в организме под воздействием факторов различной интенсивности, то есть адаптации организма к действующим на него факторам.

Среда обитания организма — это совокупность абиотических и биотических условий его жизни. Свойства среды постоянно меняются, и любое существо, чтобы выжить, приспосабливается к этим изменениям.

Земной биотой освоены три основные среды обитания: *водная, наземно-воздушная и почвенная* вместе с *горными породами* приповерхностной части литосферы. Биологи еще часто выделяют четвертую среду жизни — *сами живые организмы*, заселенные паразитами и симбионтами.

Воздействие среды воспринимается организмами через посредство факторов среды, называемых экологическими.

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

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

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 которой лежит *внутривидовая конкуренция*, которая в корне отличается 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. Возможные типы комбинаций и отражают различные виды взаимоотношений.

1. Нейтрализм — оба вида независимы и не оказывают никакого действия друг на друга (белки и лоси).

2. Симбиоз (сожительство) — оба партнера или один из них привлекает пользу от другого.

Кооперация (содружество) — оба вида образуют сообщество, но могут существовать и раздельно, хотя сообщество приносит им обоим пользу (рак-отшельник и актиния).

Межвидовая взаимопомощь — птицы уничтожают личинок-паразитов под кожей буйволов, или сорока предупреждает об опасности крупных копытных.

Мутуализм — виды не могут существовать друг без друга (клубеньковые бактерии и бобовые растения).

Комменсализм (*нахлебничество*) — один вид, комменсал, извлекает пользу от сожительства, а другой вид, хозяин, не имеет никакой выгоды (взаимная терпимость) (гиены, подбирающие остатки пищи, недоеденной львами).

3. Антибиоз — оба партнера или один из них испытывает отрицательное влияние.

Конкуренция — каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное воздействие (на популяционном уровне).

Аменсализм — один вид, аменсал, испытывает от другого угнетение роста и размножения.

Паразитизм — паразитический вид тормозит рост и размножение своего хозяина и даже может вызвать его гибель.

Хищничество — хищный вид питается своей жертвой.

Межвидовые отношения лежат в основе существования биотических сообществ (биоценозов).

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

Абиотическими факторами называют всю совокупность факторов неорганической среды, влияющих на жизнь и распространение животных и растений. Среди них различают физические, химические и эдафические.

Физические факторы — это те, источником которых служит физическое состояние или явление (механическое, волновое и др.). Например, температура, если она высокая, вызовет ожог, если очень низкая — обморожение. 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, соленость воды. Если она высокая, жизнь в водоеме может вовсе отсутствовать (Мертвое 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, т. е. почвенные, — это совокупность химических, физических и механических свойств почв и горных пород, оказывающих воздействие как на организмы, живущие в них, т. е. те, 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.

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

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

Факторы, изменения 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 орга-

низмов к условиям жизни. Ж. Б. Ламарк опирался в своих исследованиях на аутоэкологические представления. Важнейшим фактором эволюции он считал влияние на организм (особь) различных внешних условий прежде всего климата. Изменение среды, по его представлениям, непосредственно ведет к трансформации растений и низших животных. В результате возникают приспособительные модификационные изменения, которые со временем переходят в стойкие наследственные различия. У высших животных изменения среды также служат началом эволюционных преобразований. Но процесс этот осуществляется более независимо, путем изменения потребностей и привычек. Это ведет к упражнению одних органов и неупражнению других. Утверждения Ламарка подтверждаются лишь частично, а аутоэкология с тех времен значительно развилась и видоизменилась, составив крупное научное направление в современной экологии.

Воздействие любого экологического фактора на организм зависит от интенсивности. При резком уменьшении или повышении угнетают живой организм и могут привести к его гибели. Крайние точки, за которыми наступает гибель организма, называются нижним и верхним пределом.

Характеризуя экологию особей (аутоэкологию), обычно показывают особенности и закономерности приспособления особей разных видов к своим местообитаниям и воздействиям факторов среды. Сюда относятся закономерности, связанные с обеспеченностью ресурсами и действием факторов среды. Организмы приспособляются, но все эти приспособления имеют в своей основе общие правила. Они-то и диктуют направление адаптации и ее ход. Зная эти правила, можно многое предсказать в морфологических и этологических переменах у животных при изменении условий их существования.

В экологии имеются статистические закономерности между температурой и морфологическими приспособлениями животных. Они описаны у близких в систематическом отношении животных и не имеют абсолютного характера. Все они базируются на очень простом правиле: поверхность тела животного пропорциональна квадрату его размера. Объем тела пропорционален кубу его размера. Именно поэтому чем крупнее животное, тем относительно меньше его поверхность тела. Соответственно, чем больше отношение поверхности к объему, тем меньше размеры животного. Эта закономерность соотношения изменений поверхности и объема диктует конструкцию животных. Так, например, потеря тепла орга-

низмом связана с величиной поверхности тела, ибо именно с нее происходит рассеивание энергии. У мелкого животного относительно большая энергопотеря. Рассмотренная закономерность отношения поверхности и объема тела лежит в основе нескольких экологических и зоогеографических правил.

Правило Бергмана звучит следующим образом: в пределах вида или однородной группы близких видов животных особи относительно более крупных размеров встречаются в более холодных областях. Это естественно, потому что чем крупнее животное, тем компактнее его тело, относительно меньше его поверхность и меньше потери тепла. Такому животному легче поддерживать постоянную температуру. Соответственно, мелкое животное имеет большую поверхность, больше излучает тепла и вынуждено поддерживать более высокий уровень обмена.

Еще одно следствие соотношения поверхности и объема тела — правило Аллена: придатки тела (уши, хвосты) тем короче, чем холоднее климат. Естественно, что длинные уши и хвосты способствуют повышенным энергопотерям, а на севере это невыгодно.

Главнейшие климатические факторы следующие.

1. *Поступающая от Солнца лучистая энергия*, распространяющаяся в пространстве в виде электромагнитных волн. Около 99% всей энергии солнечной радиации составляют лучи с длиной волны 0,17-4,0 мкм, в том числе 48% приходится на видимую часть спектра с длиной волны 0,4-0,76 мкм, 45% — на инфракрасную (длина волны от 0,75 мкм до 10^{-3} м) и около 7% — на ультрафиолетовую (длина волны менее 0,4 мкм). Преимущественное значение для жизни имеют инфракрасные лучи, а в процессах фотосинтеза наиболее важную роль играют оранжево-красные и ультрафиолетовые лучи.

Количество энергии солнечной радиации, проходящей через атмосферу к поверхности Земли, практически постоянно и оценивается приблизительно в $21 \cdot 10^{23}$ кДж. Эту величину называют солнечной постоянной. Но приход солнечной энергии в различные точки поверхности Земли неодинаков и зависит от продолжительности дня, угла падения лучей, прозрачности атмосферного воздуха и т. д. Поэтому чаще солнечную постоянную выражают в количестве джоулей, приходящихся на 1 см^2 поверхности в единицу времени. Ее среднее значение составляет около $0,14 \text{ Дж/см}^2$ в 1 с.

Как известно, земная ось наклонена к плоскости эклиптики, вследствие чего различные области земного шара получают неодина-

ковое количество энергии солнечной радиации. Например, в арктической зоне воспринимается около $60,6 \cdot 10^3$ Дж/см² в год, а в умеренно теплой — до $344 \cdot 10^3$ Дж/см² в год.

Солнечная энергия не только поглощается поверхностью Земли, но и частично ею отражается. Известно, что светлоокрашенные поверхности отражают свет интенсивнее, чем темноокрашенные. От того, какую долю энергии солнечной радиации поглотит поверхность, зависит общий режим температуры, влажности. Так, чистый снег отражает примерно 80-95% энергии солнечной радиации, загрязненный снег — 40–50, черноземная почва — до 5, сухая светлая почва — 35–45, хвойные леса — 10–15%.

2. *Освещенность земной поверхности*, связанная с лучистой энергией и определяющаяся продолжительностью и интенсивностью светового потока. Вследствие вращения Земли периодически чередуются светлое и темное время суток. Освещенность играет важнейшую роль для всего живого, и организмы физиологически адаптированы к смене дня и ночи, к соотношению темного и светлого периодов суток. Практически у всех животных существуют так называемые циркадные (суточные) ритмы активности, связанные со сменой дня и ночи. Многие растения способны расцвести только в дневное время, а на ночь закрывают венчики цветков. По отношению к свету растения подразделяют на светолюбивые и теневыносливые.

3. *Влажность атмосферного воздуха*, связанная с насыщением его водяными парами. Наиболее богаты влагой нижние слои атмосферы (до высоты 1,5–2,0 км), где концентрируется примерно 50% всей влаги. Количество водяного пара, содержащегося в воздухе, зависит от температуры воздуха. Чем выше температура, тем больше влаги содержит воздух. Однако при той или иной конкретной температуре воздуха существует определенный предел насыщения его парами воды, который называют максимальным. Обычно насыщение воздуха парами воды не достигает максимального, и разность между максимальным и данным насыщением носит название *дефицита влажности*, или недостатка насыщения. Дефицит влажности — важнейший экологический параметр, поскольку он характеризует сразу две величины: температуру и влажность. Чем выше дефицит влажности, тем суше и теплее, и наоборот. Известно, что повышение дефицита влажности в определенные отрезки вегетационного периода способствует усиленному плодоношению растений, а у ряда животных, например насекомых, приводит к размножению вплоть до так

называемых «вспышек». Поэтому на анализе динамики дефицита влажности основаны многие способы прогнозирования различных явлений в мире живых организмов. Если в середине июня наблюдается влажная и прохладная погода и дефицит влажности меньше среднего многолетнего значения (1963, 1965, 1967 годы), то на следующий год деревья ели имеют слабый урожай шишек, а доля невылетевших бабочек-вредителей составляет 25-98% от общей численности, поскольку им некуда откладывать яйца, т. е. размещать будущее потомство. Если же погода теплая и сухая и дефицит влажности выше среднего многолетнего (1964, 1966, 1968, 1969 годы), то на следующий год шишек на деревьях много и большинство бабочек вылетает и откладывает яйца.

4. *Осадки*, тесно связанные с влажностью воздуха, представляют собой результат конденсации водяных паров. Благодаря конденсации в приземном слое воздуха образуются росы, туманы, а при низких температурах наблюдается кристаллизация влаги. Вследствие конденсации и кристаллизации паров воды в более высоких слоях атмосферы формируются облака и атмосферные осадки. Режим осадков — важнейший фактор, определяющий миграцию загрязняющих веществ в биосфере.

Осадки — одно из звеньев в круговороте воды на Земле, причем в их выпадении прослеживается резкая неравномерность, в связи с чем выделяют гумидные (влажные) и аридные (засушливые) зоны. Максимальное количество осадков выпадает в зоне тропических лесов (до 2000 мм/год), в то время как в засушливых зонах, например в некоторых пустынях тропического пояса, — 0,18 мм/год. Зоны с количеством осадков менее 250 мм/год уже считаются засушливыми.

5. *Газовый состав атмосферы*. Состав ее относительно постоянен и включает преимущественно азот и кислород с примесью незначительного количества диоксида углерода и аргона, а также (практически в следовых количествах) иные газы. Кроме того, в верхних слоях атмосферы содержится озон. Обычно в атмосферном воздухе присутствуют твердые и жидкие частицы (воды, оксиды различных веществ, пыль и дымы).

Азот — важнейший биогенный элемент, участвующий в образовании белковых структур организмов; кислород, в основном поступающий от зеленых растений, обеспечивает окислительные процессы; диоксид углерода является естественным демпфером солнечного и ответного земного излучения (его роль будет подробно рассмотрена

ниже); озон выполняет экранирующую роль по отношению к ультрафиолетовой части солнечного спектра, губительной для всего живого.

Примеси мельчайших частиц (пыльца растений, дымы, гигроскопические соли, твердые и жидкие оксиды и др.) влияют на прозрачность атмосферы, препятствуя прохождению солнечных лучей к поверхности Земли.

6. *Температура на поверхности земного шара* определяется температурным режимом атмосферы и тесно связана с солнечным излучением. Известно, что количество тепла, падающего на горизонтальную поверхность, прямо пропорционально синусу угла стояния Солнца над горизонтом. Поэтому в одних и тех же районах наблюдаются суточные и сезонные колебания температуры, причем вся поверхность земного шара разделяется на ряд поясов с условными границами. Чем выше широта местности (к северу и к югу от экватора), тем больше угол наклона солнечных лучей к поверхности Земли и тем холоднее климат.

7. *Движение воздушных масс (ветер)*. Причина возникновения ветра — неодинаковый нагрев земной поверхности, связанный с перепадами давления. Ветровой поток направлен в сторону меньшего давления, т. е. туда, где воздух более прогрет. Сила вращения Земли воздействует на циркуляцию воздушных масс. В приземном слое воздуха их движение оказывает влияние на все метеорологические элементы климата: режим температуры, влажности, испарение с поверхности Земли и транспирацию растений. Ветер — важнейший фактор переноса и распределения примесей в атмосферном воздухе. Наблюдаются длительные периоды (циклы) преобладающей атмосферной циркуляции продолжительностью несколько десятков лет. Причем циклы меридиональной, широтной циркуляции периодически сменяются с востока на запад, с севера на юг, а также в противоположных направлениях. С типами атмосферной циркуляции иногда связывают периоды одновременной активности многих видов животных, например периоды вспышек массового размножения насекомых.

8. *Давление атмосферы*. Нормальным считается давление 1 кПа, соответствующее 750,1 мм рт. ст. В пределах земного шара существуют постоянные области высокого и низкого давления, причем в одних и тех же точках наблюдаются сезонные и суточные минимумы и максимумы давления. Различают также морской и континентальный типы динамики атмосферного давления. Периодически возникающие области пониженного давления, характеризующиеся мощными пото-

ками воздуха, стремящегося по спирали к перемещающемуся в пространстве центру, носят название циклонов. Циклоны отличаются устойчивой погодой и большим количеством осадков.

Абиотические факторы почвенного покрова. Согласно определению В. Р. Вильямса, почва — это рыхлый поверхностный горизонт суши, способный производить урожай растений. Таким образом, важнейшее свойство почвы — ее плодородие. Плодородие определяется физическими и химическими свойствами почвы, которые в совокупности образуют группу эдафогенных (или эдафических) факторов.

Почва — трехфазная среда, включающая твердые, жидкие и газообразные компоненты. Она представляет собой продукт физического, химического и биологического преобразования горных пород, т. е. формируется в результате сложного взаимодействия климата, растений, животных и микроорганизмов. Сама почва постоянно развивается и изменяется, вследствие чего существует большое разнообразие ее типов.

В результате перемещения и превращения веществ почва расчленяется на отдельные слои, или горизонты, сочетание которых составляет профиль почвы. Во всех типах почв самый верхний горизонт A_1 имеет более или менее темный цвет, зависящий от количества органического вещества. Этот горизонт называют гумусовым, или перегнойно-аккумулятивным. Он может иметь зернистую, комковатую или слоистую структуру. Избыток или недостаток гумуса определяет плодородие почвы, так как в нем осуществляются сложные обменные процессы, в результате которых образуются элементы питания растений.

Выше горизонта A_1 иногда находится горизонт A_0 , состоящий из разлагающихся растительных остатков: лесной подстилки, степного войлока и пр. Лесная подстилка благоприятствует естественному семенному возобновлению древесных пород, способствует накоплению влаги и питательных веществ в почве, а также влияет на ее тепловой и воздушный режимы.

В лесных почвах под горизонтом A_1 залегает малопродуктивный подзолистый горизонт A_2 , имеющий светлый оттенок и непрочную структуру. В черноземных, темно-каштановых, каштановых и других типах почв этот горизонт отсутствует. Еще глубже во многих типах почв расположен горизонт B — иллювиальный, или горизонт вымывания. В него вымываются и в нем накапливаются минеральные и органические вещества из вышележащих горизонтов. Чаще всего он окрашен в бурый цвет и имеет большую плотность. Еще ниже залегает материнская горная порода C , на которой формируется почва. Все го-

ризонты почвы представляют собой смесь органических и минеральных элементов.

Свыше 50% минерального состава почвы занимает кремнезем (SiO_2), около 1-25% приходится на глинозем (Al_2O_3), 1-10% — на оксиды железа (Fe_2O_3), 0,1- 5% — на оксиды магния, калия, фосфора кальция (MgO , K_2O , P_2O_5 , CaO). Органические вещества, поступающие в почву с растительным спадом, включают углеводы (лигнин, целлюлоза, гемицеллюлозы), белковые вещества, жиры, а также конечные продукты обмена у растений — воска, смолы, дубильные вещества. Органические остатки в почве разрушаются (минерализуются) с образованием более простых (вода, диоксид углерода, аммиак и др.) веществ или превращаются в более сложные соединения — перегной, или гумус.

Одна из наиболее важных физических свойств почвы — ее механический состав, т. е. содержание частиц разной величины. Установлены четыре градации механического состава: песок, супесь, суглинки и глина. От механического состава зависят водопроницаемость почвы, ее способность удерживать влагу, проникновение в нее корней растений и др. Кроме того, каждая почва характеризуется плотностью, тепловыми (теплопоглотительная способность, теплоемкость, теплопроводность) и водными (влагоемкость, водопроницаемость и др.) свойствами. Большое значение для почвы имеет *аэрация*, т. е. насыщенность ее воздухом и способность к такому насыщению.

Химические свойства почвы зависят от содержания минеральных веществ, которые находятся в ней в виде растворенных ионов. Некоторые ионы являются для растений ядом, другие — жизненно необходимы. Концентрация в почве ионов водорода (рН) в среднем близка к нейтральному значению. Флора таких почв особенно богата видами. Известковые и засоленные почвы имеют рН 8–9, а торфяные — до 4. На этих почвах развивается специфическая растительность.

В почве обитает множество видов растительных и животных организмов, влияющих на ее физико-химические характеристики: бактерии, водоросли, грибы или простейшие одноклеточные, черви и членистоногие. Биомасса их в разных почвах равна (кг/га): бактерий 1000–7000; микроскопических грибов 100–1000; водорослей 10–300; членистоногих 1000; червей 350–1000.

В почве осуществляются процессы синтеза, биосинтеза, протекают разнообразные химические реакции преобразования веществ, связанные с жизнедеятельностью бактерий. Одни бактерии участву-

ют только в цикле превращения одного элемента, например серы, другие — в циклах превращения многих элементов, таких как углерод, азот, фосфор и кальций. При отсутствии в почве специализированных групп бактерий эту роль выполняют почвенные животные, которые крупные растительные остатки переводят в микроскопические частицы и таким образом делают органические вещества доступными для микроорганизмов.

Органические вещества вырабатываются растением при использовании минеральных солей, солнечной энергии и воды. Таким образом, почва теряет те минеральные элементы, которые растения взяли из нее. В лесах часть питательных веществ вновь возвращается в почву через листопад. Культурные растения за какой-то период времени изымают из почвы значительно больше биогенных веществ, чем возвращают в нее. Обычно потери питательных веществ восполняются внесением минеральных удобрений, которые в основном прямо не могут быть использованы растениями. Они должны быть трансформированы микроорганизмами в биологически доступную форму. При отсутствии таких микроорганизмов почва теряет плодородие.

Среди бактерий важную роль выполняют *нитрифицирующие*, в частности нитрозамонасы и нитробактеры. В аэробной среде первые окисляют часть аммиака до солей азотистой кислоты, вторые — до азотной. В анаэробных условиях идет обратный процесс — денитрификация, связанный с восстановлением солей азотной кислоты до азота.

Основные биохимические процессы окисления протекают в верхнем слое почвы толщиной до 0,4 м, так как в нем обитает наибольшее количество микроорганизмов. Если бактерии минерализуют органическое вещество, то простейшие уничтожают избыточное количество бактерий. Дождевые черви, личинки жуков, клещи разрыхляют почву и этим способствуют ее аэрации. Кроме того, они перерабатывают трудно расщепляемые органические вещества (целлюлозу, хитин, кератин).

В промышленности в некоторых случаях почву используют для биологической очистки сточных вод от органических веществ на полях орошения и полях фильтрации. При этих методах очистки органические вещества окисляются при активном участии флоры и фауны.

Абиотические факторы водной среды. Вода занимает преобладающую часть биосферы Земли. Из 510 млн км² общей площади

земной поверхности на Мировой океан приходится 361 млн км² (71%).

Водные условия образуют своеобразную среду обитания живых организмов, отличающуюся от наземной прежде всего плотностью и вязкостью. Плотность воды в 800 раз, а вязкость примерно в 55 раз больше, чем воздуха. Океан — главный приемник и аккумулятор солнечной энергии, поскольку вода обладает высокой теплоемкостью. Водная оболочка Земли носит название гидросферы и включает также пресные воды, сосредоточенные в пределах суши (горные льды, реки, болота, озера), и внутренние моря.

Наряду с плотностью и вязкостью важнейшими физическими особенностями водной среды являются следующие.

1. Подвижность, т. е. постоянное перемещение водных масс в пространстве, способствующее поддержанию относительной гомогенности физических и химических характеристик.

2. Температурная стратификация, т. е. изменение температуры воды по глубине водного объекта.

3. Режим, связанный с периодическими (годовыми, суточными, сезонными) изменениями температуры. Самыми низкими температурами воды считают -2°C , самыми высокими $35\text{--}37^{\circ}\text{C}$. (В данном случае не имеется в виду температура геотермальных вод.) В целом динамика колебаний температуры воды меньше, чем воздуха.

4. Прозрачность воды, определяющая световой режим под ее поверхностью. От прозрачности (и обратной ей характеристики — мутности) зависит фотосинтез зеленых и пурпурных бактерий, фитопланктона, высших растений, а следовательно, и накопление органического вещества, которое возможно лишь в пределах так называемой *эвфотической* («эв» — пере, «фотос» — свет) зоны, т. е. в том слое, где процессы фотосинтеза преобладают над процессами дыхания.

Мутность и прозрачность зависят от содержания взвешенных в воде веществ органической и минеральной природы, в том числе от поступающих в водные объекты вместе с промышленными сбросами. Поэтому среди характеристик природных и сточных вод, подлежащих контролю на промышленном предприятии, прозрачность и содержание взвешенных веществ принадлежат к числу важнейших.

Из наиболее значимых для живых организмов абиотических факторов в водных объектах следует отметить *соленость воды*, т. е. содержание в ней растворенных карбонатов, сульфатов, хлоридов. В пресных водах их мало, причем преобладают карбонаты (до 80%). Во-

ды открытого океана содержат в среднем 35 г/л солей, Черного моря — 19, Каспийского — около 14 г/л. Здесь преобладают хлориды и отчасти сульфаты. В морской воде растворены практически все элементы Периодической системы, включая металлы.

Другая характеристика химических свойств воды связана с присутствием в ней растворенного кислорода и диоксида углерода. Особенно важен кислород, обеспечивающий дыхание водных организмов. Перерасход кислорода на дыхание живых организмов и на окисление поступающих в воду с промышленными сбросами органических и минеральных веществ ведет к резкому обеднению живого населения вплоть до невозможности обитания в такой воде аэробных организмов.

Жизнедеятельность и распространение организмов в воде зависят от концентрации водородных ионов, которую обычно характеризуют ее отрицательным логарифмом и обозначают pH. Все обитатели воды (гидробионты) приспособились к определенному уровню pH: одни предпочитают кислую среду, другие — щелочную, третьи — нейтральную. Изменение этих характеристик, прежде всего в результате промышленных загрязнений, ведет к гибели гидробионтов или (реже) к замещению одних видов другими.

2.2.2. Концепция лимитирующих факторов

Закон минимума Либиха

Не все экологические факторы: свет, температура, влажность, наличие солей, обеспеченность биогенными элементами и т. д. — одинаково важны для успешного выживания организма. Взаимоотношения организма со средой представляют собой сложный процесс, в котором можно выделить наиболее слабые, уязвимые звенья. Те факторы, которые являются критическими или лимитирующими для жизнедеятельности организма, вызывают наибольший интерес, прежде всего с практической точки зрения.

Идея о том, что выносливость организма определяется самым слабым звеном среди всех его потребностей, впервые была высказана Юстасом фон Либихом в 1840 г. Он сформулировал принцип, который известен как закон минимума Либиха: «Веществом, находящимся в минимуме, управляется урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени».

Выводы Либиха касались роли питания в жизни растений и сводились к тому, что рост растений и их урожайность лимитируется не

теми элементами питания, которые необходимы и потребляются в больших количествах, а теми, которые используются в микроколичествах, но которых в почве очень мало.

Оказалось, что закон Либиха строго применим только в условиях стационарного состояния экосистем, т. е. такого состояния, когда приток и отток энергии и вещества сбалансированы. При стационарном состоянии лимитирующим будет то вещество, количества которого наиболее близки к необходимому минимуму. К переходным состояниям, когда количества вещества быстро меняются, закон применим в меньшей степени.

Ю. Одум приводит следующий пример, иллюстрирующий это положение. Представим себе озеро, главным лимитирующим фактором в котором является диоксид углерода; продуктивность озера находится в равновесии с количеством двуокиси углерода, поступающим от разложения органического вещества. Другие факторы: свет, а также азот, фосфор и другие биогенные элементы — при этом содержатся в избытке и не являются лимитирующими факторами. Если во время бури в воде растворится дополнительное количество диоксида углерода, то продуктивность изменится, будет зависеть и от других факторов. Пока скорость поступления диоксида углерода меняется, стационарного состояния нет и эффект минимума не наблюдается. Результат в этом случае будет зависеть от всех факторов среды. По мере расходования разных компонентов, от которых зависит продуктивность, последняя будет быстро изменяться до тех пор, пока количество одного из них не станет недостаточным. Тогда он станет лимитирующим, и скорость функционирования озерной экосистемы будет подчиняться закону минимума.

Анализируя этот пример, задаешься вопросом о взаимодействии различных факторов в их влиянии на функцию экосистемы. Высокая концентрация одного элемента может изменить скорость потребления другого, содержащегося в минимальном количестве. Так, например, показано, что некоторым растениям нужно меньше цинка в тех случаях, когда они растут не на ярко освещенном участке, а в тени. В этом случае цинк уже не будет лимитирующим фактором для роста и развития растения.

Другой пример взаимодействия факторов при низком содержании азота засухоустойчивость злаков снижается. Примером может быть также усвоение витаминов живыми существами, в частности, человеком. Многие витамины, которые, как известно, должны посту-

пать в организм с пищей и необходимы человеку в микроколичествах, не усваиваются, если в пище не хватает железа.

Таким образом, принцип, первоначально сформулированный Ю. Либихом, в настоящее время распространен на любые экологические факторы, но он дополнен двумя ограничениями:

— относится только к системам, находящимся в стационарном состоянии;

— относится не только к одному фактору, но и к комплексу факторов, различных по своей природе и взаимодействующих в своем влиянии на организмы и популяции.

По сложившимся представлениям, лимитирующим считают такой фактор, по которому для достижения заданного (достаточно малого) относительного изменения отклика требуется минимальное относительное изменение этого фактора.

Закон толерантности

Наравне с влиянием недостатка, минимума экологических факторов негативным может быть и влияние избытка, т. е. максимума факторов, таких как тепло, свет, влага. Это показал в своих работах еще Ю. Либих. Представления о лимитирующем влиянии максимума наравне с минимумом ввел В. Шелфорд в 1913 г., сформулировавший этот принцип как «закон толерантности».

После работ В. Шелфорда было проведено значительное число исследований по экологии толерантности, что помогло ученым и практикам понять ряд закономерностей распределения организмов в природе. Закон толерантности, сформулированный В. Шелфордом, был дополнен рядом положений:

— организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного фактора и узкий — в отношении другого;

— наиболее широко распространены организмы с большим диапазоном толерантности;

— диапазон толерантности для одного экологического фактора может зависеть от других экологических факторов;

— если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то это сказывается и на диапазоне толерантности для других экологических факторов;

— пределы толерантности существенно зависят от состояния организма; так, пределы толерантности для организмов в период размножения или на стадии личинки обычно уже, чем для взрослых особей;

— в природных популяциях существенное влияние на диапазон толерантности могут оказывать межпопуляционные отношения (конкуренция, хищничество, паразиты и т. п.).

Диапазон между минимумом и максимумом экологических факторов принято называть пределами или диапазоном толерантности. Для обозначения пределов толерантности к условиям среды обитания используют термины «эврибионтный» — организм с широким пределом толерантности и «стенобионтный» — с узким. Приставки эври- и стено- используют для образования слов, характеризующих влияние различных экологических факторов, например, температуры (стено-термный — эвритермный), солености (стеногалинный — эвригалинный), пищи (стенофагный — эврифагный) и т. д.

Согласно закону толерантности, лимитирующим фактором процветания популяции (организма) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, а диапазон между ними определяет величину выносливости (предел толерантности) или экологическую валентность организма к данному фактору (рис. 2.2).



Рис.2.2. Зависимость результата действия экологического фактора от его интенсивности

Благоприятный диапазон действия экологического фактора называется зоной оптимума (нормальной жизнедеятельности). Чем большее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность популяции. Этот диапазон называется зоной угнетения. Максимально и минимально переносимые значения фактора — это критические точки, за пределами которых существование организма или популяции уже невозможно.

Принцип лимитирующих факторов справедлив для всех типов живых организмов — растений, животных, микроорганизмов и относится как к абиотическим, так и к биотическим факторам. Например, лимитирующим фактором для развития организмов данного вида может стать конкуренция со стороны другого вида. В земледелии лимитирующим фактором часто становятся вредители, сорняки, а для некоторых растений лимитирующим фактором развития становится недостаток (или отсутствие) представителей другого вида. Например, в Калифорнию из Средиземноморья завезли новый вид инжира, но он не плодоносил, пока оттуда же не завезли единственный для него вид пчел-опылителей.

В соответствии с законом толерантности любой избыток вещества или энергии оказывается загрязняющим среду началом. Так, избыток воды даже в засушливых районах вреден и вода может рассматриваться как обычный загрязнитель, хотя в оптимальных количествах она просто необходима. В частности, избыток воды препятствует нормальному почвообразованию в черноземной зоне.

Широкую экологическую валентность вида по отношению к абиотическим факторам среды обозначают добавлением к названию фактора приставки "эври", например, животные, способные выносить значительные колебания температуры, называются эвритермными. Неспособность переносить значительные колебания факторов или низкая экологическая валентность характеризуется приставкой "стено", например, стенотермные животные. Небольшие изменения температуры мало сказываются на эвритермных организмах и могут оказаться губительными для стенотермных (рис. 2.3).

Виды, для существования которых необходимы строго определенные экологические условия, называют стенобионтными, а виды, приспосабливающиеся к экологической обстановке с широким диапазоном изменения параметров, — эврибионтными.

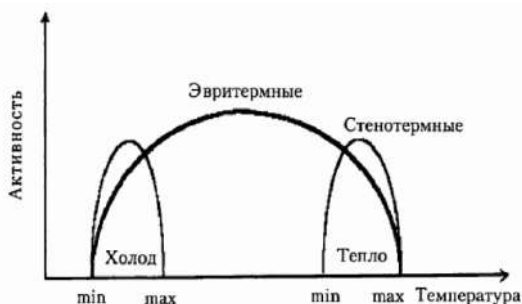


Рис. 2.3. Пределы толерантности стенотермных и эвритермных организмов

Предел толерантности организма изменяется при переходе из одной стадии развития в другую. Часто молодые организмы оказываются более уязвимыми и более требовательными к условиям среды, чем взрослые особи. Наиболее критическим с точки зрения воздействия разных факторов является период размножения: в этот период многие факторы становятся лимитирующими. Экологическая валентность для размножающихся особей, семян, эмбрионов, личинок, яиц обычно уже, чем для взрослых неразмножающихся растений или животных того же вида. Например, многие морские животные могут переносить солоноватую или пресную воду с высоким содержанием хлоридов, поэтому они часто заходят в реки вверх по течению. Но их личинки не могут жить в таких водах, так что вид не может размножаться в реке и не обосновывается здесь на постоянное местообитание. Многие птицы летят выводить птенцов в места с более теплым климатом и т.п.

До сих пор речь шла о пределе толерантности живого организма по отношению к одному фактору, но в природе все экологические факторы действуют совместно.

Оптимальная зона и пределы выносливости организма по отношению к какому-либо фактору среды могут смещаться в зависимости от того, в каком сочетании действуют одновременно другие факторы. Эта закономерность получила название *взаимодействия экологических факторов*. Например, известно, что жару легче переносить при сухом, а не влажном воздухе; угроза замерзания значительно выше при низкой температуре с сильным ветром, чем в безветренную погоду. Для роста растений необходим, в частности, такой элемент, как цинк, именно он часто оказывается лимитирующим фактором. Но для

растений, растущих в тени, потребность в нем меньше, чем для находящихся на солнце. Происходит так называемая компенсация действия факторов.

Однако взаимная компенсация имеет определенные пределы и полностью заменить один из факторов другим нельзя. Полное отсутствие воды или хотя бы одного из необходимых элементов минерального питания делает жизнь растений невозможной, несмотря на самые благоприятные сочетания других условий. Отсюда следует вывод, что *все условия среды, необходимые для поддержания жизни, играют равную роль и любой фактор может ограничивать возможности существования организмов — это закон равнозначности всех условий жизни.*

Известно, что каждый фактор неодинаково влияет на разные функции организма. Условия, оптимальные для одних процессов, например для роста организма, могут оказаться зоной угнетения для других, например для размножения, и выходить за пределы толерантности, то есть приводить к гибели, для третьих. Поэтому жизненный цикл, в соответствии с которым организм в определенные периоды осуществляет преимущественно те или иные функции — питание, рост, размножение, расселение, всегда согласован с сезонными изменениями факторов среды, например, с сезонностью в мире растений, обусловленной сменой времен года.

Среди законов, определяющих взаимодействие индивида или особи с окружающей его средой, выделим *правило соответствия условий среды генетической предопределенности организма.* Оно утверждает, что *вид организмов может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его природная среда соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к ее колебаниям и изменениям.* Каждый вид живого возник в определенной среде, в той или иной степени приспособился к ней, и дальнейшее существование вида возможно лишь в данной или близкой к ней среде. Резкое и быстрое изменение среды жизни может привести к тому, что генетические возможности вида окажутся недостаточными для приспособления к новым условиям. На этом, в частности, основана одна из гипотез вымирания крупных пресмыкающихся в связи с резким изменением абиотических условий на планете: крупные организмы менее изменчивы, чем мелкие, поэтому для адаптации им нужно гораздо больше времени. В связи с этим коренные преобразования природы опасны для ныне существующих видов, в том числе и для самого человека.

На уровне сообществ и даже видов известно явление компенсации факторов, под которым понимают способность приспосабливаться (адаптироваться) к условиям среды так, чтобы ослабить лимитирующее влияние температуры, света, воды и других физических факторов. Виды с широким географическим распространением почти всегда образуют адаптированные к местным условиям популяции — экотипы.

Термин «экотипы» был впервые использован для описания внутривидовых генетически закрепленных соответствий между организмом и средой. Различия выявляются в формах роста, потребности в воде, сроках вегетации и сроках цветения, реакции на биогенные элементы, устойчивости к воздействию токсичных химических веществ. Так, у многих травянистых растений выявлены резкие различия между формами, произрастающими на лугах и пастбищах различных типов. Например, на интенсивно используемом пастбище ползучие столоны клевера разветвлены очень сильно.

Практическая работа

Тема: «Среда и условия существования организмов».

Цель работы: Изучить классификацию экологических факторов среды и принципы экологической классификации животных и растений.

Задание 1.

— Приведите примеры взаимодействия экологических факторов.

— Какие из экологических факторов, на Ваш взгляд играют более значительную роль в эволюции?

Задание 2.

Объясните, почему в относительно простых условиях среды наблюдается упрощение организации у населяющих ее видов. Приведите примеры.

Задание 3. Характеристика основных экологических факторов.

Заполните таблицу 2.1.

Таблица 2.1

| Основные группы экологических факторов | Основные характеристики экологических факторов и примеры |
|--|--|
| 1. | |
| 2. | |
| 3. | |

Задание 4.

Впишите в таблицу 2.2. названия животных и растений из предлагаемого списка соответственно их экологической характеристике, т. е. принадлежности к стенобионтам или эврибионтам.

Лишайники, кораллы, млекопитающие, орхидеи, птицы, медузы, пресмыкающиеся, мхи, форель, человек, кактусы.

Таблица 2.2

| Стенобионты | Эврибионты |
|-------------|------------|
| | |

Задание 5.

Сумма эффективных температур (температуры, лежащие выше нижнего порога развития и не выходящие за пределы верхнего) определяется по формуле:

$$C = (t - t_1) \cdot n, \text{ где}$$

t — наблюдаемая (реальная) температура;

t_1 — нижний порог развития;

n — продолжительность развития в днях.

Вычислите сумму эффективных температур для следующих растений:

Таблица 2.3

| Растение | Минимальная температура | Реальная температура | Продолжительность развития |
|-----------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. подсолнечник | 5–10 | 25 | 160 |
| 2. тыква | 10–15 | 23 | 105 |
| 3. томаты | 15–18 | 22 | 120 |

Задание 6.

Некоторую часть своего жизненного цикла камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) существует в виде специализированной личиночной стадии — зоеа. При изучении влияния солёности среды на особей данного вида краба на разных стадиях развития были отмечены следующие закономерности. Во взрослом состоянии особей можно отнести к стеногалинным организмам, так как они существуют в интервале солёности от 20 г/л до 32 г/л, при этом оптимум отмечается при 25–28 г/л. В момент оплодотворения оптимальная соле-

ность сужается до 26–27,5 г/л при неизменных пределах толерантности. Отложенные яйца сохраняют свою жизнеспособность только при солености от 17 г/л до 28 г/л. Максимальное вылупление зоеа происходит при интервале солености от 23 г/л до 26 г/л. Одновременно изменяется и устойчивость к солености. Если нижний предел снижается до 18 г/л, то верхний незначительно повышается (до 33 г/л). До репродуктивного возраста при сохранении солености в интервале 23–28 г/л доживает 82% особей. По приведенным выше данным определите пределы толерантности для камчатского краба как вида в целом. Иллюстрацией к какому закону, описывающему закономерности действия экологических факторов является этот пример. Сформулируйте этот закон.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется влияние абиотических факторов на организм?
2. Перечислите принципы экологической классификации животных и растений.
3. Какие механизмы позволяют живым организмам компенсировать действие экологических факторов?

2.3. Экология популяций

2.3.1. Структура и динамика популяций

Понятие о популяции

В природе каждый существующий вид представляет сложный комплекс или даже систему внутривидовых групп, которые охватывают в своем составе особей со специфическими чертами строения, физиологии и поведения. Таким внутривидовым объединением особей и является популяция. Термин «популяция» был впервые введен в 1903 году датским ученым Йогансеном для обозначения «естественной смеси особей одного и того же вида, неоднородной в генетическом отношении». В дальнейшем этот термин приобрел экологическое значение, и им стали обозначать население вида, занимающего определенную территорию. По определению С. С. Шварца (1980), *популяция — это элементарная группировка организмов определенного вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.*

Термин «популяция» в настоящее время используют в узком смысле слова, когда говорят о конкретной внутривидовой группировке, населяющей определенный биогеоценоз, и широким, общем смысле, для обозначения обособленных групп вида независимо от того, какую территорию она занимает и какую генетическую информацию несет.

Популяция является генетической единицей вида, изменения которой осуществляет эволюция вида. Как группа совместно обитающих особей одного вида, *популяция выступает первой надорганизменной биологической макросистемой*. У популяции приспособительные возможности значительно выше, чем у слагающих ее индивидов. Популяция как биологическая единица обладает определенной структурой и функцией. Структура популяции характеризуется составляющими ее особями и их распределением в пространстве. Функции популяции аналогичны функциям других биологических систем. Им свойственен рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях, т. е. популяции обладают конкретными генетическими и экологическими характеристиками.

Пространственные подразделения популяций

Пространство, или ареал, занимаемое популяцией, может быть различным как для разных видов, так и в пределах одного вида. Величина ареала популяции определяется в значительной мере подвижностью особей или *радиусом индивидуальной активности*. Если радиус индивидуальной активности невелик, величина и популяционного ареала обычно также невелика.

У растений радиус индивидуальной активности определяется расстоянием, на которое могут распространяться пыльца, семена и вегетативные части, способные дать начало новому растению. Во многих других случаях *трофический ареал* не совпадает с репродукционным. Так, несмотря на огромный трофический ареал белого аиста, обитающего в Европе, а зимой в Африке, каждая пара птиц возвращается обычно в район своего старого гнезда, и популяции аистов, хотя и смешиваются на местах зимовок, но во время размножения занимают относительно небольшую территорию.

В зависимости от размеров занимаемой территории Н. Л. Наумов (1963) выделяет три типа популяций: элементарные, экологические и географические.

Элементарная популяция, или микропопуляция, — это совокупность особей вида, занимающих какой-то небольшой участок одно-

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

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

Географическая популяция охватывает группу особей, населяющих территорию с географически однородными условиями существования. Географические популяции занимают сравнительно большую территорию, довольно основательно разграничены и относительно изолированы. Они различаются плодovitостью, размерами особей, рядом экологических, физиологических, поведенческих и других особенностей. Для географической популяции характерен генетический обмен, и хотя он может быть редким, но все же возможен. При перекрестном скрещивании особи каждой популяции приобретают общий морфологический тип, в чем-то несколько отличающийся от соседней географической популяции, с которой регулярного контакта нет. Например, узкочерепная полевка занимает большой ареал. Она встречается в степных районах нашей страны и далеко на севере в зоне тундры. Географические популяции из тех и других районов имеют существенные отличия между собой по физиологии и размерам животных. Тундровые, в отличие от степных, более крупные, значительно раньше начинают размножаться, обладают более высокой плодovitостью и

больше накапливают жира. Отличия настолько четко выражены, что длительное время считали эти группы разными видами. Однако эксперименты показали, что обе формы полевков легко скрещиваются и дают плодовитое потомство, и, следовательно, принадлежат к одному виду. Границы и размеры популяций в природе определяются особенностями не только заселяемой территории, но в первую очередь свойствами самой популяции. Здесь всегда лежит степень ее генетического и экологического единства. Раздробление вида на множество мелких территориальных группировок носит приспособительный характер к большому разнообразию местных условий, что увеличивает генетическое многообразие вида и обогащает его генофонд. Таким образом, наиболее общим правилом является то, что индивиды любого живого вида всегда представлены не изолированными отдельностями, а их определенным образом организованными совокупностями. Это правило было сформулировано в 1903 году С. С. Четвериковым и получило название *правила объединения в популяции*.

Показатели популяций

Являясь групповыми объединениями особей, популяции обладают рядом специфических показателей, которые не присущи каждой отдельно взятой особи. При этом выделяют две группы количественных показателей — статические и динамические.

Состояние популяции на данный момент времени характеризуют *статические показатели*. К ним относятся следующие.

Численность — общее количество особей на выделяемой территории или в данном объеме. Этот показатель популяции никогда не бывает постоянным, он зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности.

Плотность популяции — среднее число особей (или биомассы) на единицу площади или объема занимаемого популяцией пространства. Плотность популяции также изменчива, она зависит от численности. В случае возрастания последней плотность популяции не увеличивается лишь в том случае, если возможно расселение ее, т. е. расширение ареала.

Динамические показатели популяции включают рождаемость, смертность, прирост и темп роста популяции.

Рождаемость (плодовитость) — число новых особей, появившихся за единицу времени в результате размножения. Живые организмы обладают огромной способностью к размножению. Она харак-

теризуется так называемым биотическим потенциалом, представляющим собой скорость, с которой при непрерывном размножении (возможном только теоретически при идеальных экологических условиях существования) особи определенного вида могут покрыть земной шар равномерным слоем. Это важнейший, хотя и условный, показатель имеет самые различные значения. Удивительный факт: один одуванчик менее чем за 10 лет способен заселить своими потомками земную поверхность, если все семена прорастут (Р. Дажо, 1975). На практике такая громадная плодовитость никогда не реализуется.

Факторы, влияющие на рождаемость. Рождаемость живых организмов определяется несколькими основными характеристиками. Одна из них — соотношение выжившего потомства, вылупившегося или родившегося, к числу самок в конце периода размножения. Например, самки калифорнийских кондоров откладывают только 1 или 2 яйца. Это делает данный вид более уязвимым к вымиранию, нежели такие виды, как утки и куропатки, которые откладывают и высиживают от 8 до 15 яиц одновременно. Самки некоторых рыб мечут тысячи или даже миллионы икринок каждый год. Крысы и мыши 4 раза в год приносят приплод примерно с 6 детенышами в одном помете.

Рождаемость видов также зависит от того, сколько раз в году самки проходят через полный цикл размножения и от продолжительности беременности. Луговая полевка с периодом беременности всего лишь 21 день может производить большое количество детенышей за короткий период. Африканский слон имеет период беременности почти 2 года и не рождает более до тех пор, пока его детеныш не станет достаточно взрослым. Таким образом, у слонов рождается всего 1 детеныш как минимум каждые 2,5 года.

Когда плотность популяции, живущей на конкретной территории, падает ниже определенного уровня, особи могут иметь трудности в поиске партнеров и рождаемость может упасть. Аналогичная картина наблюдается и в тех случаях, если плотность популяции становится слишком высокой для достаточного обеспечения пищей, что сказывается на здоровье продуктивных особей. При перенаселенности и стрессовых условиях некоторые виды, такие как крысы, испытывают резкое падение рождаемости, даже если наблюдается избыток пищи.

Смертность популяции — число погибших в популяции особей в определенный отрезок времени. Подобно плодовитости, смертность

изменяется в зависимости от условий среды обитания, возраста и состояния популяции; смертность выражается в процентах к начальной или чаще к ее средней величине.

Факторы, влияющие на смертность. В основном смертность и возрастная структура видов зависят от того, какие шансы для выживания имеют особи в различных возрастных группах. Наглядную информацию дает кривая выживаемости отдельных видов, полученная путем подсчета процента живых особей в отдельной популяции. Для большинства видов такая кривая обычно может быть одним из трех наиболее типичных вариантов. Смертность зависит и от других факторов. Один из них — межвидовая конкуренция: конкуренция между особями двух или более различных видов за питание и другие ресурсы. Другой фактор — это внутривидовая конкуренция: конкуренция между особями одного вида за скудные ресурсы. Смертность может также повыситься из-за наличия хищников, болезней и паразитов, стресса от перенаселенности, потери или ухудшения естественной среды обитания в результате человеческой деятельности и, кроме того, из-за природных катаклизмов, таких, как засухи, землетрясения, ураганы, пожары и наводнения.

Прирост популяции — разница между рождаемостью и смертностью; прирост может быть положительным, нулевым и отрицательным.

Темп роста популяции — средний прирост ее за единицу времени.

Структура популяции и ее виды

Любой популяции присуща определенная организация. Распределение особей по территории, соотношение групп особей по полу, возрасту, морфологическим, физиологическим, поведенческим и генетическим особенностям отражают соответствующую *структуру популяции*: пространственную, половую, возрастную и т. д. Структура формируется, с одной стороны, на основе общих биологических свойств видов, а с другой — под влиянием абиотических факторов среды и популяций других видов. Поэтому важно подчеркнуть приспособительный характер структуры популяции.

Возрастная и половая структуры популяции. Возрастная структура популяции, т. е. соотношение в ней разных возрастных групп, определяется особенностями жизненного цикла вида и внешними условиями. В любой популяции можно условно выделить три экологические группы: предрепродуктивную, репродуктивную, пострепродуктивную. К *предрепродуктивной* относится группа особей, возраст которых не достиг способности к воспроизведению; *репродуктивная* —

группа, способная воспроизводить новые особи; наконец, *пострепродуктивная* — особи, которые по ряду причин утратили способность участвовать в воспроизведении новых поколений. По отношению к общей продолжительности жизни длительность этих возрастов сильно меняется у разных видов. Для человека эти три возраста приблизительно одинаковы по длительности.

Имеются виды с очень *простой возрастной структурой* популяций, которые состоят практически из представителей одного возраста. Так, все однолетние растения весной находятся в проростках, затем почти одновременно зацветают, дают семена и к осени отмирают. Уязвимость таких популяций крайне высока: если в период развития наступают, например, заморозки, происходит массовая гибель особей. Напротив, в благоприятной ситуации такая популяция может дать взрыв численности (саранча, грызуны).

В популяции со *сложной возрастной структурой* представлены все возрастные группы, одновременно живут несколько поколений. Так, в стадах слонов, например, есть и новорожденные, и подростки, и молодые крепнущие животные, и способные к размножению самцы и самки, и старые особи. Такие популяции не подвержены резким колебаниям численности. Экстремальные внешние условия могут изменить их возрастную состав за счет гибели наиболее слабых, но самые устойчивые возрастные группы выживают и затем восстанавливают структуру популяции.

Очевидно, что человек, рассматриваемый как биологический вид, имеет сложную структуру популяций.

Продолжительность жизни

Продолжительность жизни вида зависит от условий (факторов) жизни. Различают физиологическую и максимальную продолжительность жизни.

Физиологическая продолжительность жизни — это такая продолжительность жизни, которая определяется только физиологическими возможностями организма. Теоретически она возможна, если допустить, что в период всей жизни организма на него не оказывают влияние лимитирующие факторы.

Максимальная продолжительность жизни — это такая продолжительность жизни, до которой может дожить лишь малая доля особей в реальных условиях среды. Эта величина варьирует в широких пределах: от нескольких минут у бактерий до нескольких тысячелетий у древесных растений (секвойя). Обычно, чем крупнее растение

или животное, тем больше их продолжительность жизни, хотя бывают и исключения (летучие мыши доживают до 30 лет, это дольше, например, жизни медведя).

Смертность и рождаемость у организмов весьма существенно изменяется с возрастом. Только увязав смертность и рождаемость с *возрастной структурой* популяции, удастся вскрыть механизмы общей смертности и определить структуру продолжительности жизни. Такую информацию можно получить с помощью таблиц выживания.

Таблицы выживания, или еще их называют «демографическими таблицами», содержат сведения о характере распределения смертности по возрастам. Демография изучает размещение, численность, состав и динамику народонаселения, а эти таблицы она использует для определения *ожидаемой продолжительности жизни человека*. Таблицы выживания бывают динамические и статические.

Динамические таблицы строятся по данным прямых наблюдений за жизнью когорты, т. е. большой группы особей, отрожденных в популяции за короткий промежуток времени относительно общей продолжительности жизни изучаемых организмов, и регистрации возраста наступления смерти всех членов данной когорты. Такие таблицы требуют длительного наблюдения, измеряемого (для разных животных) месяцами или годами. Но практически невозможно такую таблицу сделать для долго живущих животных или для человека — для этого может потребоваться более 100 лет. Поэтому используют другие таблицы — статические.

Статические таблицы выживания составляются по данным наблюдений за относительно короткий промежуток времени за смертностью в отдельных возрастных группах. Зная численность этих групп (сосуществующих когорт), можно рассчитать смертность, специфическую для каждого возраста (табл. 2.4).

Такие таблицы представляют собой как бы временной срез через популяцию. Если в популяции не происходит существенных изменений в смертности и рождаемости, то статические и динамические таблицы совпадают.

Данные таблиц выживания позволяют построить *кривые выживания*, или кривые (второе название) дожития, так как отражается зависимость количества доживших до определенного возраста особей от продолжительности этого интервала с самого момента от рождения организмов.

Таблица 2.4

Статическая демографическая таблица женского населения
Канады на 1980 г.

| Возрастная группа | Количество человек в каждой возрастной группе | Число умерших в каждой возрастной группе | Смертность в расчете на 1000 человек |
|-------------------|---|--|--------------------------------------|
| 0–1 | 173 400 | 1651 | 9,52 |
| 1–4 | 685 900 | 340 | 0,50 |
| 5–9 | 876 600 | 218 | 0,25 |
| 10–14 | 980 300 | 234 | 0,24 |
| 15–19 | 1 164 100 | 568 | 0,49 |
| 20–24 | 1 136 100 | 619 | 0,54 |
| 25–29 | 1 029 300 | 578 | 0,56 |
| 30–34 | 933 000 | 662 | 0,71 |
| 35–39 | 739 200 | 818 | 1,11 |
| 40–44 | 627 000 | 1039 | 1,66 |
| 45–49 | 622 400 | 1664 | 2,67 |
| 50–54 | 615 100 | 2 574 | 4,18 |
| 55–59 | 596 000 | 3 878 | 6,51 |
| 60–64 | 481200 | 4 853 | 10,09 |
| 65–69 | 413 400 | 6 803 | 16,07 |
| 70–74 | 325 600 | 8 421 | 25,86 |
| 75–79 | 235 100 | 10 029 | 42,66 |
| 80–84 | 149 300 | 10 824 | 72,50 |
| 85 и боль- | 199 200 | 18 085 | 151,70 |

Выделяют три типа основных кривых выживания (рис. 2.4), к которым в той или иной мере приближаются все известные кривые.

Кривые выживаемости

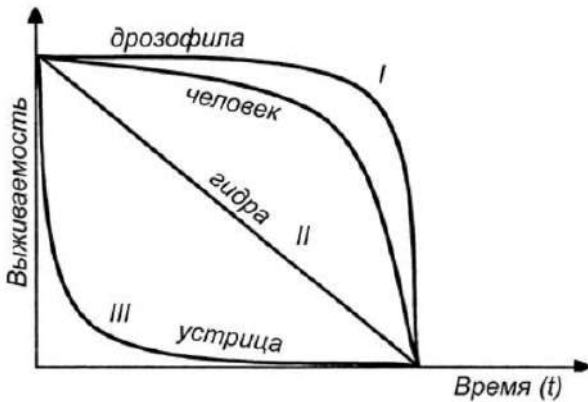


Рис. 2.4. Различные типы кривых выживания

Кривая I типа, когда на протяжении всей жизни смертность ничтожно мала, резко возрастающая в конце ее, характерна для насекомых, которые обычно гибнут после кладки яиц (ее и называют «кривой дрозофилы»), к ней приближаются кривые выживания человека в развитых странах, а также некоторых крупных млекопитающих.

Кривая III типа — это случаи массовой гибели особей в начальный период жизни. Гидробионты и некоторые другие организмы, не заботящиеся о потомстве, выживают за счет огромного числа личинок, икринок, семян и т. п.

Моллюски, прежде чем закрепиться на дне, проходят личиночную стадию в планктоне, где личинки гибнут в огромных количествах, поэтому кривую III называют еще «кривой устрицы».

Кривая II типа (диагональная) характерна для видов, у которых смертность остается примерно постоянной в течение всей жизни. Такое распределение смертности не столь уж редкое явление среди организмов. Встречаются они среди рыб, пресмыкающихся, птиц, многолетних травянистых растений.

Реальные кривые выживания часто представляют собой некоторую комбинацию указанных выше основных типов. Например, у крупных млекопитающих, да и у людей, живущих в отсталых странах, кривая I вначале круто падает за счет повышенной смертности сразу после рождения.

Модели динамики популяций

1. J-образная кривая.

При неограниченных ресурсах и идеальных природных условиях виды реализуют максимальную рождаемость. Такой рост популяции начинается медленно и затем стремительно нарастает по экспоненте, то есть кривая роста популяции принимает J-образный вид (рис. 2.5) Эта идея была выдвинута английским экономистом Томасом Мальтусом на рубеже XVIII и XIX веков.

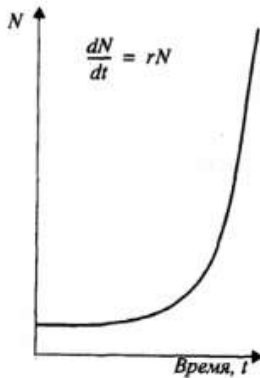


Рис.2. 5. J-образная кривая роста численности популяции

$$dN/dt = rN,$$

где r — выраженная скорость роста численности популяции, связана с максимальной скоростью размножения; чем выше скорость размножения, тем выше r :

- $r > 0$, $N \uparrow$ экспоненциально (бум и крах популяции);
- $r < 0$, $N \downarrow$ экспоненциально (бум и крах популяции);
- размеры не стабилизируются.

2. S-образная кривая.

При ограниченных ресурсах размеры популяции того или иного вида также ограничены, и смертность начинает расти, когда численность популяции достигает или временно превышает емкость экосистемы. Когда это случается, J-образная кривая роста популяции начинает плавно изгибаться и принимает вид S-образной кривой (рис. 2.6).



Рис. 2.6. S-образная кривая роста численности популяции

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

где K — максимальное число организмов, которое может поддерживаться в данных условиях среды (емкость экосистемы); отражает влияние среды на снижение роста:

- $N > K$, скорость роста отрицательна;
- $N < K$, скорость роста положительна;
- $N = K$, скорость роста равна нулю — стабилизация популяции.

Динамика популяций

Изменение в численности, структуре и распределении популяций как реакция на условия окружающей среды называется динамикой популяции.

Изменение уровня смертности или уровня рождаемости является основной реакцией большинства видов на объем доступных ресурсов или другие изменения окружающей среды.

Благоприятные изменения обычно вызывают увеличение популяции путем превышения рождаемости над смертностью. Неблагоприятные изменения приводят к обратному процессу.

Особи некоторых видов животных могут избежать или уменьшить действие резкого изменения окружающей среды, покидая территорию своего обитания (эмиграция) и мигрируя на другую (иммиграция) с более благоприятными экологическими условиями и лучшей обеспеченностью ресурсами. Таким образом, четыре фактора — рождаемость, смертность, иммиграция и эмиграция определяют скорость изменения числа особей в популяции за определенный промежуток времени.

жуток времени. Структура популяции в отношении особей разного возраста и пола может меняться. Старые, очень молодые и слабые члены популяции могут погибнуть в результате резких изменений окружающей среды. Оставшаяся часть популяции приобретает большую устойчивость к таким стрессам, как более суровый климат, увеличение численности хищников или болезнетворных организмов.

Популяции разных видов также различным образом распределены по своим местообитаниям с тем, чтобы иметь больше преимуществ в обеспечении пищей, убежищем и другими ресурсами, избегать или защищать себя от хищников или, наоборот, чтобы найти жертву. Часто члены популяции собираются в маленькие группы по всему ареалу обитания. Одной из причин этого является то, что ресурсы, необходимые для выживания и воспроизводства, редко распространены равномерно, некоторые участки местообитания предоставляют либо лучшую защиту для жертв, либо лучшие условия охоты для хищников. Это распределение популяции часто меняется в зависимости от изменения условий окружающей среды.

Практически каждый организм способен увеличить свою численность до заселения всей Земли при условии достатка пищи, воды, пространства и защиты от врагов. При неограниченных ресурсах такие быстроразмножающиеся виды, как бактерии, насекомые, мыши и некоторые рыбы, могут сделать это за короткий отрезок времени. Например, при отсутствии ограничений один вид бактерий полностью заселил бы нашу планету за 30 дней. Почему же этого не происходит? Потому что природные условия не столь идеальны, а ресурсы ограничены. Такие факторы, как наличие хищников, внутри- и межвидовая конкуренция, недостаток пищи, болезни, неблагоприятные климатические условия, отсутствие подходящих местообитаний, как правило, останавливают рост популяции ниже уровня максимальной рождаемости. Максимальный размер популяции одного вида, который природная экосистема способна поддерживать в определенных экологических условиях неопределенно долго, называется поддерживающей емкостью экосистемы для данного вида или просто емкостью экосистемы.

Модели динамики популяций в природе. В природе мы встречаемся с тремя основными типами кривых роста численности популяций: относительно стабильного, скачкообразного и циклического.

Виды, чья численность находится из года в год на уровне емкости окружающей среды, имеют относительно стабильные популяции.

Подобное постоянство в размерах популяции характерно для многих видов дикой природы и встречается, например, в нетронутых тропических дождевых лесах, где среднегодовая температура и количество осадков крайне мало изменяются день ото дня и год от года.

Некоторые виды, такие как енот, обычно имеют довольно стабильную численность популяции, но иногда их число резко возрастает, или "подскакивает" до наивысшей отметки, а затем стремительно падает до какого-то относительно стабильного низкого уровня. Такие виды относятся к популяциям со скачкообразным ростом численности.

Внезапные увеличения численности происходят тогда, когда временно повышается емкость среды для данной популяции, что может быть связано с улучшением погодных условий и питания или с резким уменьшением численности хищников, врагов и т.п. После того, как численность популяции превысит эту новую, более высокую емкость системы, смертность в популяции резко увеличивается и размеры популяции значительно сокращаются.

Некоторые виды каждые три-четыре года или каждые десять лет, или в иные постоянные временные интервалы резко увеличивают число особей, что затем сопровождается таким же резким падением численности популяции. Данные виды относятся к популяциям с циклическим ростом их численности. Фактор или группа факторов, влияющих на подобную динамику численности, пока еще недостаточно изучены.

2.3.2. Стратегии выживания

Основные виды кривых численности популяций в природе:

- относительная стабильность;
- скачкообразный рост;
- циклические колебания.

Изменения экосистем в ответ на крупномасштабный стресс

С течением времени экосистемы меняются (зарастание водоема или вырубки).

Экологическая сукцессия — процесс заселения территории, пригодной к жизни, при котором одни сообщества видов растений и животных заменяются серией других, обычно более сложных сообществ.

Экологическая сукцессия продолжается до тех пор, пока сообщество не станет максимально стабильным и самообеспечивающимися для данных условий (т. е. зрелым).

Зрелые сообщества — пустыни, травянистые системы и леса (в зависимости от климата).

Первичная сукцессия — последовательное развитие сообществ на участках, лишенных почв (скалы и глины после прохождения ледника, вулканическая лава и пепел, участки открытой добычи полезных ископаемых).

Голая природа —————→ Зрелый лес
несколько тысяч лет

Вторичная сукцессия — последовательное развитие сообществ в ареале, где естественная растительность уничтожена или сильно нарушена, но почва и донные отложения сохранены (заброшенные с/х угодья, вырубка, сильно загрязненные водоемы, земли, затопленные при строительстве водохранилища) — десятки и сотни лет.

1) поле → однолетние → многолетние → кустарники → молодой → зрелый дубовый лес;

2) вырубки → травы → кустарники → лиственный лес → зрелый хвойный лес;

3) пруд → болото → луг → лес (сотни лет).

Практическая работа

Тема: «Численность и плотность популяции».

Цель работы: Познакомиться с основными показателями популяций.

Задание 1.

Дополните утверждения, выбрав один наиболее правильный вариант из всех приведенных ниже.

Численность популяции из года в год остается постоянной потому, что...

- а) каждый год гибнет примерно одинаковое количество особей;
- б) различные факторы среды противодействуют высокому проявлению биотического потенциала популяции;
- в) организмы размножаются более интенсивно при меньшей плотности популяции и менее интенсивно при большей ее плотности;
- г) организмы прекращают размножение после того, как численность популяции превысит средний уровень;
- д) относительное потребление хищниками особей данной популяции остается постоянным.

Задание 2.

Дополните утверждения, выбрав один наиболее правильный вариант из всех приведенных ниже:

Разные популяции одного вида организмов ...

- а) постоянно ограничены одними и теми же факторами;
- б) могут быть в один и тот же период времени ограничены разными факторами;
- в) в один период времени ограничены одними и теми же факторами (в другое время факторы могут быть другими, но сходными для всех популяций);
- г) ограничены в росте своей численности в разные периоды времени сходным комплексом значимых факторов.

Задание 3.

Дополните утверждения, выбрав один наиболее правильный вариант из всех приведенных ниже.

Регулярное пространственное распределение особей в популяции животных может быть следствием ...

- а) наличия механизмов, обеспечивающих случайное расселение потомков;
- б) наличия поведенческих механизмов, усложняющих возможность успешного поселения около уже обосновавшихся особей;
- в) высокой гомогенностью условий обитания;
- г) эволюционно выработавшегося механизма, затрудняющего поиск добычи специализированным хищником;
- д) случайным пространственным распределением объектов питания;
- е) необходимостью избегать высокой плотности из-за опасности возникновения дефицита пищи;
- ж) колониального образа жизни.

Задание 4.

Рост популяций хищников в наземных экосистемах чаще всего ограничен:

- а) нехваткой пищи;
- б) климатическими факторами;
- в) воздействием паразитов;
- г) внутривидовой конкуренцией (поведенческими механизмами);
- д) величиной первичной продукции.

Задание 5.

В популяциях равноного рака *Gammarus lacustris* в озерах Западно-Сибирской равнины в течение года происходит трансформация половой структуры. В зимний период времени соотношение полов характеризуется цифрами 1:1,4 (самцы: самки). В течение лета структура становится близкой к 1:1, а с начала октября самки опять начинают преобладать над самцами. Предложите гипотезу, объясняющую данное явление. Какую роль оно играет в поддержании популяционного гомеостаза?

Задание 6.

Численность популяции резко возрастает...

- а) когда единственным ограничивающим рост ресурсом является пища;
- б) когда она впервые попадает в подходящее незанятое местообитание;
- в) только в случае отсутствия хищников;
- г) только в лаборатории.

Выберите наиболее правильный ответ и поясните Ваш выбор.

Контрольные вопросы

1. Почему толерантность популяции к факторам среды значительно шире, чем у особи, и каково экологическое значение этого явления?
2. Каковы экологические причины, вызывающие рост численности популяций по экспоненте и логистической кривой?
3. Какие экологические факторы вызывают саморегуляцию плотности популяции?

2.4. Экология сообществ (биоценоз) и экосистем

2.4.1. Понятие о биоценозе

Термином «биоценоз» (от лат. биос — жизнь, ценоз — общий) предложен К. Мебиусом в 1877 году, когда он изучал устричные банки и приуроченные к ним организмы. Биоценоз — это совокупность популяций всех видов живых организмов, населяющих определенную географическую территорию, отличающуюся от других соседних территорий по химическому составу почв, вод, а также по ряду физических показателей (высота над уровнем моря, величина солнечного облучения и т. д.).

В состав биоценоза, таким образом, входят такие компоненты, как растительный, животный компонент и микроорганизмы. Они образуют в почве, в водной или воздушной среде микробные биоком-

плексы-микробиоценозы. Конкретные сообщества складываются в строго определенных условиях окружающей среды (почва и грунтовые воды, климат, осадки). Взаимодействуя с компонентами биоценоза (растениями, микроорганизмами и др.), почва и грунтовые воды образуют эдафотоп, а атмосфера — климатоп. Компоненты, относящиеся к неживой природе, образуют косное единство — экотоп. Относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом, называют биотопом.

Приспособленность членов биоценоза к совместной жизни выражается в определенном сходстве требований к важнейшим абиотическим условиям среды и закономерных отношениях друг с другом.

Биоценоз и биотоп оказывают друг на друга взаимное влияние, выражающееся главным образом в непрерывном обмене энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них. Масштаб биоценологических группировок организмов весьма различен, от сообществ, например, подушек лишайников на стволах деревьев или разлагающегося пня до населения ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т. д. По отношению к мелким сообществам (стволы или листва деревьев, моховые кочки на болотах, муравейники и др.) применяют такие термины, как «микросообщества», «биоценологические группировки «биоценологические комплексы» и т. д.

Между биоценологическими группировками разных масштабов принципиальной разницы нет. Мелкие сообщества входят составной, нередко автономной частью в более крупные, которые в свою очередь являются частями сообществ еще больших масштабов. Например, все живое население лишайниковых и моховых подушек на стволе дерева является частью более крупного сообщества организмов, связанного с этим деревом и включающего подкорковых и настольных его обитателей, население кроны, ризосферы и т. д. Вместе с тем, данная группировка — лишь одна из составных частей лесного биоценоза, входящего в более сложные комплексы, которые образуют в итоге весь живой покров Земли. Следовательно, организация жизни на биоценологическом уровне иерархична. Увеличение масштабов сообществ усиливает их сложность и долю не прямых, косвенных связей между видами.

2.4.2. Структура биоценоза

Под структурой биоценоза понимают достаточно четко выраженные закономерности в соотношениях и связях его частей. Она многопланова, поэтому при ее изучении обычно выделяют различные аспекты.

Видовая структура биоценоза характеризует разнообразие в нем видов и соотношение их численности или массы. При этом различают бедные и богатые видами биоценозы. Так, везде, где условия абиотической среды приближаются к оптимальным для жизни, возникают чрезвычайно богатые видами сообщества: тропические леса, долины рек в аридных районах и т. д. Напротив, в полярных арктических пустынях и северных тундрах при дефиците тепла, а также в безводных жарких пустынях сообщества сильно обеднены, поскольку лишь немногие виды могут приспособиться к таким неблагоприятным условиям.

Виды одного размерного класса, которые входят в состав конкретного биоценоза, сильно различаются по численности. Одни из них встречаются редко, другие настолько часто, что определяют внешний облик биоценоза, например, ковыль в ковыльной степи. В каждом сообществе можно выделить группу основных, наиболее многочисленных в каждом классе видов. Так, в дубраве — это дуб, в бору — сосна и т. д. В лесу, где произрастают десятки видов растений, только один или два дают до 90% древесины. Такие виды, преобладающие по численности, называются доминантными, они занимают ведущее, господствующее положение в биоценозе. Как правило, наземные биоценозы называют исходя из доминантных видов: лиственный лес, ковыльные степи и т.п.

Виды, которые живут за счет доминантов, получили название *предоминантов*. Так, в упомянутом дубовом лесу это сойки, мышевидные грызуны, а также кормящиеся на дубе насекомые.

Однако не все доминантные виды одинаково влияют на биоценоз. Среди них выделяются те, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду для всего сообщества и без которых поэтому существование большинства других видов невозможно. Такие виды называют эдификаторами, или средообразователями. При удалении эдификатора из биоценоза происходит заметное изменение физической среды, в первую очередь микроклимата биотопа. В наземных биоценозах основными эдификаторами выступают определенные виды растений: в еловых лесах — ель, в сосновых — сосна, в степях — дерновинные злаки (ковыль и типчак). В некоторых случаях эдификаторами могут быть и животные. Так, роющая способность сурков определяет в основном и характер ландшафта, и микроклимат, и условия произрастания растений. Даже самый общий анализ видовой структуры может дать достаточно много для целостной характе-

ристики сообщества. Важно отметить, что разнообразие биоценоза тесно связано с его устойчивостью: чем выше видовое разнообразие, тем стабильнее биоценоз.

Пространственная структура биоценоза определяется сложением его растительной части — фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений. В ходе длительного эволюционного преобразования, приспосабливаясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы в итоге приобрели четкое ярусное строение: надземные органы растений и подземные их части располагаются в несколько слоев, по-разному используя и изменяя среду. Фитоценоз приобретает ярусный характер при наличии в нем растений, различающихся по высоте. Так, в широколиственном лесу можно выделить до шести ярусов. Первый (верхний) ярус образован деревьями первой величины (дуб, липа); второй — деревьями второй величины (рябина, дикие яблони и груши); третий ярус составляет подлесок, образованный кустарниками (лещина, крушина); четвертый состоит из высоких трав (борцы, бор развесистый и др.); пятый ярус сложен из трав более низких (осока волосистая, пролесник многолетний и др.); в шестом ярусе — наиболее низкие травы (копытень) и мхи. Ярусно располагаются и подземные части растений. Так, корни у деревьев, как правило, проникают на большую глубину, нежели у кустарников.

Растения каждого яруса и созданный ими микроклимат способствуют образованию определенной среды для специфичных животных. Поэтому возникают группировки растений и животных — популяции тесно связанных между собой организмов. Так, в почвенном ярусе, который заполнен корнями растений, обитают бактерии, грибы, насекомые, черви. В лесной подстилке живут насекомые, клещи, пауки, многочисленные микроорганизмы. Более высокие ярусы (травостой, подлесок) занимают растительноядные насекомые, птицы, млекопитающие и другие животные. Интересно, что даже свободно перемещающиеся в пространстве птицы стремятся придерживаться строго определенного яруса.

Следовательно, ярус можно представить как структурную единицу биоценоза, которая отличается от других частей его определенными экологическими условиями и набором растений, животных и микроорганизмов. В каждом ярусе складывается своя, подчас сложная система взаимоотношений составляющих его компонентов.

Экологическая структура биоценоза. Каждый биоценоз складывается из определенных экологических групп организмов, которые могут иметь неодинаковый видовой состав, хотя и занимают сходные экологические ниши. Так, в лесах преобладают сапрофаги, в степных зонах — фитофаги, в глубинах Мирового океана — хищники и детритоеды. Следовательно, экологическая структура биоценоза представляет его состав из экологических групп организмов, которые выполняют в сообществе определенные функции. Подчеркнем, что указанная структура биоценоза в сочетании с видовой и пространственной служит его макроскопической характеристикой, позволяющей ориентироваться в свойствах биоценоза при планировании хозяйственных мероприятий, прогнозировать последствия тех или иных антропогенных воздействий, оценивать устойчивость системы.

Пограничный или краевой эффект. Важным признаком структурной характеристики биоценозов служит наличие границ обитания различных сообществ. Однако они редко бывают четко выраженными, поскольку соседние биоценозы постепенно переходят один в другой. В результате возникает довольно обширная пограничная (краевая) зона, отличающаяся особыми условиями.

Растения и животные, характерные для каждого из соприкасающихся сообществ, проникают на соседние территории, создавая при этом специфическую опушку, пограничную полосу — экотон. В нем как бы переплетаются типичные условия соседствующих биоценозов, что способствует произрастанию растений, характерных для обоих биоценозов. В свою очередь это привлекает сюда и разнообразных животных из-за относительного обилия корма. Так возникает пограничный или краевой эффект — увеличение разнообразия и плотности организмов на окраинах (опушках) соседствующих сообществ и в переходных поясах между ними.

На опушках происходит более быстрая смена растительности, чем в стабильном биоценозе. Вспышки массового размножения вредителей наиболее часто наблюдаются на опушках, в переходных зонах (экотонах) между лесами и степями (в лесостепях), между лесом и тундрой (в лесотундрах) и т. д. Для агробиоценозов, т. е. искусственно созданных и регулярно поддерживаемых человеком биоценозов культурных полей, также характерно вышеуказанное размещение насекомых-вредителей. Они концентрируются в основном в краевой полосе, а центр поля заселяют в меньшей степени. Указанное явление связано с тем, что в переходной полосе резко обостряется конкурен-

ция между отдельными видами растений, а это в свою очередь снижает у последних уровень защитных реакций против насекомых.

Отношения организмов в биоценозах

Прямые и косвенные межвидовые отношения по значению, которое они имеют для занятия видом в биоценозе определенного положения, по классификации В. Н. Беклемишева (1970), подразделяются на четыре типа: 1) трофические, 2) топические, 3) форические, 4) фабрические.

Трофические связи наблюдаются, когда один вид питается другим либо их мертвыми остатками, либо продуктами их жизнедеятельности. Как стрекозы, ловящие на лету других насекомых, так и жуки-навозники, питающиеся пометом крупных копытных, и пчелы, собирающие нектар растений, вступают в прямую трофическую связь с видами, которые предоставляют им пищу. При конкуренции двух видов из-за объектов питания между ними возникает косвенная трофическая связь, вследствие того, что деятельность одного отражается на снабжении кормом другого. Воздействие одного вида на поедаемость другого или доступность для него пищи расценивается так же, как косвенная трофическая связь между ними. Так, гусеницы бабочек-монашенок, обедая хвою сосен, облегчают короедам доступ к ослабленным деревьям.

Топические связи характеризуют любое физическое или химическое изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого. Данный вид связей отличается большим разнообразием. Топические связи заключаются в создании одним видом среды для другого (внутренний паразитизм или норный комменсализм), в формировании субстрата, на котором поселяются или избегают поселяться представители других видов, во влиянии на движение воды, воздуха, изменение температуры, освещенности окружающего пространства, в насыщении среды продуктами насыщения и т. д. Морские желуды, поселяющиеся на коже китов, лишайники на стволах деревьев связаны прямой топической связью с организмами, представляющими им субстрат или среду обитания. Значительная роль в создании или изменении среды для других организмов принадлежит растениям. Из-за особенностей энергообмена растительность является мощным фактором перераспределения тепла у поверхности Земли и создания мезо- или микроклимата. Под пологом леса подлесок, напочвенный покров, животные находятся в условиях более выровненных температур, более

высокой влажности воздуха и т. д. Хотя и в меньшей степени, травянистая растительность также изменяет режим окружающего пространства. В результате положительных или отрицательных топических взаимоотношений одни виды определяют или исключают возможность существования в биоценозе других видов. В биоценозе трофические и топические связи имеют наибольшее значение, составляют основу его существования. Эти типы отношений удерживают друг возле друга организмы различных видов, объединяя их в сравнительно стабильные сообщества разных масштабов.

Форические связи — это участие одного вида в распространении другого. В роли транспортировщиков выступают животные. Как нами было отмечено ранее, перенос животными семян, спор, пыльцы растений называют зоохорией. Перенос же животными других, более мелких животных называют форезией (от лат. форас — наружу, вон). Обычно перенос осуществляется с помощью специальных и разнообразных приспособлений. Форезия животных преимущественно распространена среди мелких членистоногих, например, у разнообразных групп клещей, представляет собой один из способов пассивного их расселения. Она свойственна видам, для которых перенос из одного биотипа в другой жизненно необходим для сохранения или процветания. Так, многие летающие насекомые — посетители скоплений быстро разлагающихся органических остатков (трупов, животных, куч гниющих растений и др.) — несут на себе гамазовых, уроподовых или тироглифоидных клещей, переселяющихся данным способом от одного скопления пищевых материалов к другому. Жуки-навозники нередко ползают с поднятыми подкрыльями, так как не в состоянии их сложить из-за густо усеявших тело клещей. При помощи форезии на насекомых распространяются некоторые виды нематод. Форезия среди крупных животных практически не встречается.

Фабрические связи — это такой тип биоценологических отношений, в которые вступает вид, используя для своих сооружений (фабрикации) продукты выделения или мертвые остатки, или даже живых особей другого вида (В. Н. Беклемишев, 1970). Например, птицы употребляют для постройки гнезд ветви деревьев, листья, траву, шерсть млекопитающих, пух и перья других видов птиц и т. д.

Биогеоценоз

Понятие биогеоценоза было введено академиком В.Н.Сукачевым в 1940 году. В авторской редакции определение звучит так: “Биогео-

ценоз — совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий слагающих её компонентов и определенные типы обмена веществом и энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии”.

2.4.3. Экологическая ниша вида

Это понятие введено с целью определения роли, которую играет тот или иной вид.

Под ней понимают образ жизни и прежде всего способ обитания организма. Будучи в определенной степени абстрактным понятием, экологическая ниша есть совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе. Сюда входят физические, химические, физиологические и биотические факторы, необходимые организму для жизни и определяемые его морфологической приспособленностью, физиологическими реакциями и поведением. Согласно Ю. Одуму, термин «экологическая ниша» отражает роль, которую играет организм в экосистеме. Иначе говоря, местообитание — это конкретный адрес вида, тогда как ниша — некий образ его жизни. Экологическая ниша, определяемая только физиологическими особенностями организмов, называется фундаментальной, а та, в пределах которой вид реально встречается в природе, — реализованной. Последняя ниша — это та часть фундаментальной ниши, которую данный вид, популяция способны отстоять в конкурентной борьбе.

Каждое местообитание постоянно предоставляет возможности жизнедеятельности множеству организмов. Соответствующие экологические ниши формируются в результате развития тех или иных специальных адаптаций у определенных видов.

Так, мухоловка-пеструшка и садовая горишховстка ловят летающих насекомых в одном и том же лесу. Однако первая охотится только на уровне крон деревьев, а другая — в кустарниках и над почвой.

Любопытно, что один и тот же вид в разные периоды развития может занимать различные экологические ниши. Например, головастики питаются растительной пищей, а взрослая лягушка — уже плотоядное животное.

Необходимо подчеркнуть, что у совместно живущих видов экологические ниши могут частично перекрываться, но полностью никогда не совпадают, иначе при этом вступает в действие закон конкурентного исключения и один вид вытесняет другой из данного биоценоза. Если же по какой-то причине, например в результате гибели организмов одного вида, «освобождается» экологическая ниша, проявляется правило обязательности заполнения экологических ниш: пустующая экологическая ниша всегда бывает естественно (!) заполнена. Многие ученые считают поэтому, что не следует питать чрезмерного оптимизма в отношении легкости заполнения пустующих ниш путем акклиматизации (интродукции) видов, представляющих практический интерес для человека. Налицо довольно много примеров печального опыта «исправления» природы. Так, вместе с дальневосточной пчелой, которую акклиматизировали в европейской части СССР, были занесены клещи, явившиеся в дальнейшем причиной гибели множества пчелосемей.

Менее организованные, но более способные к мутации виды часто вытесняют более организованные виды, занимая их экологические ниши. При этом новые виды нередко оказываются, во-первых, весьма агрессивными и трудно уничтожимыми за счет своей высокой изменчивости (как это произошло с вирусом СПИДа, который пришел на смену вирусам кори, скарлатины и др.), а во-вторых, более мелкими по размеру особями. Так, исчезающих в степях копытных животных, функциями которых являлись поедание и частичная переработка растительности (что облегчало ее дальнейшее разложение редуцентами), могут заменить грызуны и растительноядные насекомые. Причем следует учесть, что мелким организмам труднее противостоять, поэтому в перспективе возможна гибель всей экосистемы.

2.4.4. Понятие об экосистемах

В основе экологии лежит *концепция экосистемы*. Экосистема — основная функциональная единица в экологии. Существует много разных определений этого понятия, но в основе его лежит по сути одно и то же содержание. Согласно представлениям Ю. Одума, живые организмы и их неживое окружение, неразделимо связанные друг с другом, постоянно взаимодействующие и совместно функционирующие на данном участке таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляют собой экологическую систему — экосистему.

Таким образом, *экосистема* — это длительное сообщество живых организмов и среда их обитания, которые функционируют совместно, т. е. обмен вещества и поток энергии происходит в них во взаимной связи.

Термин *экосистема* впервые был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тэнсли, хотя представления об экосистеме сформировались очень давно и связаны с концепцией единства организма и среды. Понятие биоценоза как целостного функционального образования встречается в трудах немецкого математика XIX века К. Мебиуса; позднее — русских ученых: основателя научного почвоведения В. В. Докучаева, создателя учения о лесе Г. Ф. Морозова и эколога В. П. Сукачева.

К началу XX века биологи стали развивать идею о том, что в природе действуют одни и те же закономерности функционирования независимо от того, какая среда рассматривается: пресноводная, морская или наземная, и пытались использовать для анализа этих закономерностей холистический подход, т. е. исходили из принципа целостности природных образований. Новое направление, которое можно назвать экологией экосистем, возникло и развивалось в связи с разработкой общей теории систем и применением системного анализа. Основателями экологии экосистем считаются Дж. Е. Хатчинсон, Р. Маргалеф, Г. Одум и др.

Понятие системы — одно из самых общих. Системой можно назвать совокупность объектов, определенным образом связанных и взаимодействующих между собой.

Понятие «объект» (или «компонент») варьирует в зависимости от уровня рассмотрения структурной организации системы. Так, например, для биологических систем элементами могут быть макромолекулы (при рассмотрении какого-либо типа клеток в качестве системы), клетки (при рассмотрении в качестве системы клеточной ткани), ткани (по отношению к органу), органы (по отношению к целому организму) и, наконец, особи или популяции (при системном изучении сообщества или биоценоза).

Все, что находится за пределами системы, называется *окружающей средой*. Система и окружающая среда разделены оболочкой — *границей системы*. Например, все популяции в озере, связанные друг с другом, а также с «сопутствующими» факторами (например, свет, кислород), составляют одну систему, в то время как суша будет являться для этой системы окружающей средой. Граница системы проходит по береговой линии и водной поверхности.

Определение границ системы носит условный характер и строится на ряде предположений. Один и тот же элемент может быть частью системы или окружающей среды в зависимости от того, в каком аспекте он рассматривается. Поскольку связи между элементами системы представляют собой важную характеристику, граница системы обычно проводится таким образом, чтобы системы и лишь некоторые из них выходили за ее пределы.

2.4.5. Пищевые цепи и пищевая сеть

В функционирующей природной экосистеме не существует отходов. Все организмы, живые или мертвые, потенциально являются пищей для других организмов: гусеница ест листву, дрозд питается гусеницами, ястреб способен съесть дрозда. Когда растения, гусеница, дрозд и ястреб погибают, они, в свою очередь, перерабатываются редуцентами.

Пищевая цепь — последовательность организмов, в которой каждый из них съедает или разлагает другой. Пищевые цепи — это также движение питательных веществ от продуцентов, консументов (травоядных, плотоядных и всеядных) к редуцентам и обратно к продуцентам (рис. 2.7).

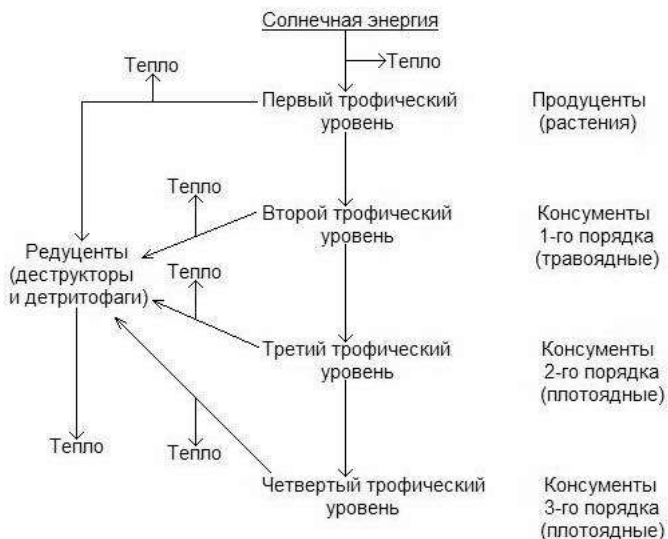


Рис. 2.7. Пищевые цепи

Все организмы, пользующиеся одним типом пищи, принадлежат к одному трофическому уровню (от греческого слова *trophos* — «питающиеся»).

Организмы природных экосистем вовлечены в сложную сеть многих связанных между собой пищевых цепей. Такая сеть называется пищевой сетью.

Движение энергии в экосистемах происходит посредством двух связанных типов пищевых сетей: пастбищной и детритной (рис. 2.8).

В **пастбищной пищевой сети** живые растения поедаются фитофагами, а сами фитофаги являются пищей для хищников и паразитов.

В **детритной пищевой сети** отходы жизнедеятельности и мертвые организмы разлагаются детритофагами и деструкторами до простых неорганических соединений, которые вновь используются растениями.



Рис. 2.8. Пастбищная и детритная пищевые сети

Функционирование экосистем. Энергия в экосистемах. Жизнь как термодинамический процесс

Энергию определяют как способность производить работу. Свойства энергии описываются законами термодинамики.

Первый закон (начало) термодинамики, или закон сохранения энергии, утверждает, что энергия может переходить из одной формы в другую, но она не исчезает и не создается заново.

Второй закон (начало) термодинамики, или закон энтропии, утверждает, что в замкнутой системе энтропия может только возрастать. Применительно к энергии в экосистемах удобна следующая формулировка: процессы, связанные с превращениями энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную, то есть деградирует. Мера количества энергии, которая становится недоступной для использования, или иначе мера изменения упорядоченности, которая происходит при деградации энергии, есть энтропия. Чем выше упорядоченность системы, тем меньше ее энтропия.

Самопроизвольные процессы ведут систему к состоянию равновесия с окружающей средой, к росту энтропии, производству положительной энтропии. Если неживую неуравновешенную с окружающей средой систему изолировать, то всякое движение в ней скоро прекратится, система в целом угаснет и превратится в инертную группу материи, находящуюся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, то есть в состоянии с максимальной энтропией. Это наиболее вероятное для системы состояние, и самопроизвольно без внешних воздействий она выйти из него не сможет. Так, например, раскаленная сковорода, остыв, рассеяв тепло, сама уже не нагреется; энергия при этом не потерялась, она нагрела воздух, но изменилось качество энергии, она уже не может совершать работу. Таким образом, в неживых системах устойчиво их равновесное состояние.

У живых систем есть одно принципиальное отличие от неживых — они совершают постоянную работу против уравнивания с окружающей средой. Это утверждение имеет следующий термодинамический смысл: как в неживых системах устойчиво их равновесное состояние, так в живых системах устойчиво неравновесное состояние.

Жизнь — это единственный на Земле естественный самопроизвольный процесс, в котором энтропия системы уменьшается. Почему это возможно?

Все живые системы являются открытыми для обмена энергией. В окружающей их среде есть огромное количество даровой энергии Солнца, а в составе самой живой системы есть компоненты, обладающие механизмами, позволяющими эту энергию улавливать (извлекать), концентрировать, а затем снова рассеивать в окружающую

среду. Как рассмотрено выше, рассеивание энергии, то есть увеличение энтропии, — это процесс, характерный для любой системы, как неживой, так и живой, а самостоятельное улавливание и концентрирование энергии — это способность только живой системы. При этом происходит извлечение порядка, организации из окружающей среды, то есть выработка отрицательной энергии — негэнтропии. Такой процесс образования порядка в системе из хаоса окружающей среды называется самоорганизацией. Он ведет к уменьшению энтропии живой системы, противодействует ее уравниванию с окружающей средой, то есть росту энтропии, что для живой системы при достижении максимальной энтропии — равновесия с окружающей средой — означает смерть.

Таким образом, любая живая система, в том числе и экосистема, поддерживает свою жизнедеятельность благодаря, во-первых, наличию в окружающей среде в избытке даровой энергии; во-вторых, способности за счет устройства составляющих ее компонентов эту энергию улавливать и концентрировать, а используя — рассеивать в окружающую среду.

Даровая энергия окружающей среды — это энергия Солнца.

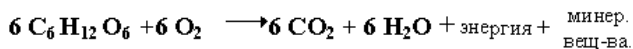
Доходящая до Земли энергия Солнца распределяется следующим образом: 33% ее отражается облаками и пылью атмосферы (это так называемое альbedo или коэффициент отражения Земли); 67% поглощается атмосферой, поверхностью Земли и океаном. Из этого количества поглощенной энергии лишь около одного процента расходуется на фотосинтез, а вся остальная энергия, нагрев атмосферу, сушу и океан, переизлучается в космическое пространство в форме невидимого теплового (инфракрасного) излучения. Этого одного процента энергии достаточно для обеспечения ей всего живого вещества планеты и поддержания им состояния с низкой энтропией. Как распределяется эта энергия между компонентами биотической структуры?

Улавливают энергию Солнца и превращают ее в потенциальную энергию органического вещества растения — продуценты. Весь остальной живой мир получает необходимую для жизнедеятельности энергию, в основном поедая их.

Перенос энергии пищи от ее источника — продуцента через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими, называется пищевой или трофической цепью.

Как происходит перенос энергии по трофической цепи? Животное употребило в пищу растение или консумента более низкого по-

рядка. Содержащееся в пище органическое вещество расщепляется в присутствии кислорода с выделением энергии. Этот процесс, обратный фотосинтезу, называется дыханием:



Он имеет место в каждой клетке живого организма, поэтому его еще называют клеточным дыханием.

Около 90% выделившейся энергии расходуется организмом на поддержание своей жизнедеятельности, то есть на обеспечение всех необходимых ему функций, после чего она в виде выделяемого организмом тепла рассеивается в окружающую среду и по сути дела безвозвратно теряется для всей живой системы. И только около 10% энергии идет на построение тела, рост и размножение организма. Именно эти 10% энергии и доступны следующему трофическому уровню. Таким образом, энергии с переходом от одного уровня к другому остается все меньше.

Но здесь нужно иметь в виду, что чем выше трофический уровень, тем в более концентрированной форме содержится в живых организмах энергия. Это объясняется присущей только живому веществу спецификой — обладанием механизмами концентрирования энергии.

Таким образом, сначала улавливание, а затем концентрирование энергии с переходом от одного трофического уровня к другому обеспечивает повышение упорядоченности, организации живой системы, то есть уменьшение ее энтропии. Для поддержания низкой энтропии в равной степени важно, чтобы у элементов системы были эффективные механизмы как для улавливания и концентрации энергии — извлечения негэнтропии из окружающей среды, так и для рассеивания ее в окружающую среду — освобождения от накапливающейся положительной энтропии. В таком сочетании они есть только в живых системах. Поэтому жизнь как термодинамический процесс представляет собой непрерывный обмен живых систем с окружающей средой, при котором происходит освобождение от производимой положительной энтропии и извлечение отрицательной.

Необходимо понимать, что энтропия уменьшается в конкретной локальной зоне, при этом в окружающей среде она возрастает. Таким образом, рост упорядоченности в одной части системы приводит к усилению неупорядоченности в других ее частях.

Для описания поведения энергии в экосистемах употребляют термин поток энергии, поскольку в отличие от циклического движе-

ния веществ превращения энергии идут в одном направлении. Энергия, однажды использованная каким-либо организмом, превращается в тепло и утрачивается для экосистемы. Она не может быть снова "пущена в дело", как вода или неорганические вещества, по отношению к которым используется термин круговорот воды и веществ. Для своей жизнедеятельности каждый живой компонент, будь то организм или экосистема, должен получать от окружающей среды на входе постоянный приток дополнительной энергии. Живые замкнутые термодинамические системы невозможны.

Продуктивность экосистем

Скорость образования органического вещества называют продуктивностью. Различают первичную и вторичную продуктивность. Энергия поступает в живую составляющую экосистемы через продуценты. Скорость накопления энергии продуцентами в форме органического вещества, которое может быть использовано в пищу, называется *первичной продукцией*. Этим показателем определяется общий поток энергии через живую составляющую экосистемы, а значит, и количество (биомасса) живых организмов, которые могут существовать за ее счет в экосистеме.

В первичной продуктивности различают валовую и чистую продуктивность. Валовая первичная продуктивность — это скорость, с которой растения накапливают химическую энергию при фотосинтезе. Часть ее — около 20% — они тратят на дыхание — поддержание собственной жизнедеятельности, которая затем в виде теплоты выделяется в окружающую среду и теряется для экосистемы. Скорость накопления органического вещества продуцентами за вычетом расхода на дыхание называется чистой первичной продуктивностью. Это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней.

Скорость накопления органического вещества на уровнях консументов называется вторичной продуктивностью. Это энергия, которую могут использовать консументы следующего трофического уровня.

Из рассмотренного механизма передачи энергии по цепи живого вещества в экосистеме видно, что в каждом звене пищевой цепи часть энергии — около 90% — теряется. Поэтому длина пищевой цепи ограничивается размерами этих потерь и, как правило, составляет 3–4 уровня.

При этом с повышением трофического уровня его биомасса снижается, так как, во-первых, если фитофаги будут потреблять больше биомассы, чем ее производят продуценты, что например, имеет место при избыточном выпасе, то популяция продуцентов в конце концов исчезнет; во-вторых, существенная доля потребляемой консументами биомассы не усваивается и возвращается в экосистему в виде экскрементов, а из той, что усваивается, лишь несколько процентов идет на создание биомассы. Таким образом, в естественных экосистемах на высших трофических уровнях не может быть большой биомассы. Именно как нарушение этого закона следует рассматривать демографический взрыв популяции человека на планете Земля или фрагменты фантастических фильмов, когда по безжизненной каменной поверхности космического объекта бродят громадные чудовища.

В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов в экосистеме приобретает определенную трофическую структуру. Трофическая структура сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно первого, второго и т. д. порядков) и редуцентами, выраженное или количеством особей живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, рассчитанных на единицу площади в единицу времени. Графически трофическую структуру сообщества представляют в виде пирамиды. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень — уровень продуцентов, а последующие уровни образуют следующие этажи пирамиды. При этом высота всех блоков-этажей одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне.

В зависимости от того, количественное соотношение каких величин отражает пирамида, она называется пирамидой чисел, биомасс или энергий. Такие пирамиды-соотношения используются в практических расчетах при обосновании, например, необходимых площадей под сельскохозяйственные культуры с тем, чтобы обеспечить кормами выращиваемое поголовье скота и далее реализовать определенный объем мясной продукции, выручив за это материальные средства. Такая задача интересна, в частности, фермеру.

Есть конкретные расчеты, показывающие, что для образования 1 кг говядины необходимо 70–90 кг свежей травы. Ясно, что такие расчеты приближенны и пригодны в основном для искусственно создаваемых трофических систем, например, агросистем, где звеньев

трофической цепи мало, связи между ними просты, а процесс регулируется человеком.

Пирамиды чисел и биомасс отражают статику системы, то есть характеризуют количество или биомассу организмов в определенный промежуток времени. Они не дают полной информации о трофической структуре экосистемы, хотя также позволяют решать ряд практических задач, особенно связанных с сохранением устойчивости экосистем. Пирамида чисел позволяет, например, рассчитывать допустимую численность отстрела животных в охотничий период без последствий для нормального функционирования экосистемы.

Пирамиды численностей и биомасс

Мы можем собрать все образцы организмов в экосистеме и подсчитать численность всех видов, обнаруженных на каждом трофическом уровне. Такая информация необходима для создания **пирамиды численностей** для экосистем (рис. 2.9).

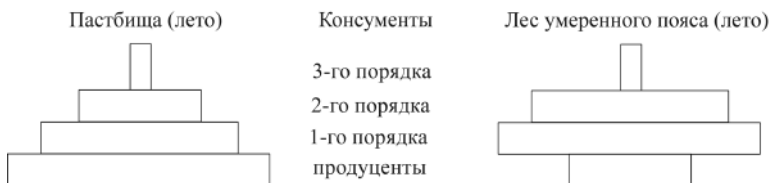


Рис. 2.9. Обобщенные пирамиды численностей в экосистемах

Сухой вес всех органических веществ, содержащихся в организмах экосистемы, называется **биомассой**. Каждый трофический уровень пищевой цепи или сети содержит определенное количество биомассы. Ее можно вычислить, если собрать все живые организмы с различных произвольно выбранных участков. Собранные экземпляры необходимо рассортировать по трофическим уровням, высушить и взвесить. Полученные данные в дальнейшем используются для построения **пирамиды биомасс** для определенной экосистемы (рис. 2.10).

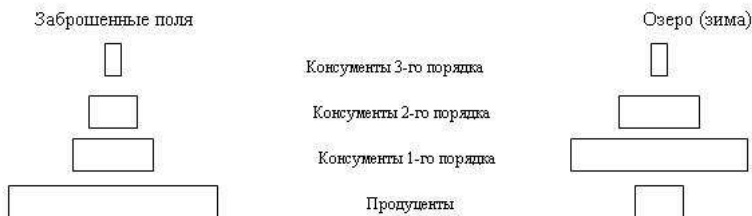


Рис. 2.10. Обобщенные пирамиды биомасс в экосистемах. Размер каждого слоя пропорционален сухой массе на квадратный метр всех организмов на данном трофическом уровне

Пирамиды энергетических потоков

С каждым переходом из одного трофического уровня в другой в пределах пищевой цепи или сети совершается работа, и в окружающую среду выделяется тепловая энергия, а количество энергии высокого качества, используемой организмами следующего трофического уровня, снижается.

Правило 10%: при переходе с одного трофического уровня на другой 90% энергии теряется, и 10% передается на следующий уровень.

Чем длиннее пищевая цепь, тем больше теряется полезной энергии. Поэтому длина пищевой цепи обычно не превышает 4–5 звеньев.

В любой экосистеме происходит образование биомассы и ее разрушение, причем эти процессы всецело определяются жизнью низшего трофического уровня — продуцентами. Все остальные организмы только потребляют уже созданное растениями органическое вещество, и, следовательно, общая продуктивность экосистемы от них не зависит.

В зеленых тканях растений осуществляется два параллельных, но противоположных процесса — фотосинтез и дыхание. При фотосинтезе вещество создается, энергия накапливается, а при дыхании часть накопленных веществ и энергии расходуется. Поэтому дыхание рассматривается как некоторая мера энергии, выносимой из сообщества, в то время как увеличение биомассы и есть продуктивность.

Теперь понятно, что если в экосистеме процессы накопления вещества преобладают над процессами дыхания, то есть отношение продуцируемой массы Π к расходам на дыхание Δ больше единицы ($\Pi/\Delta > 1$), то суммарная биомасса в ней нарастает. Если же в процессе дыхания или потребления последующими звеньями пищевой цепи

расходуется больше вещества, чем создается растениями ($P/D < 1$), то запасы биомассы убывают. При равенстве биомассы, продуцируемой растениями в процессе фотосинтеза и убывающей за счет дыхания тех же растений или расходования последующими уровнями ($P/D=1$), объем биомассы в ней остается примерно постоянным.

В водных экосистемах толща воды сильнее препятствует проникновению солнечных лучей, чем атмосферный воздух. Естественно, водные организмы приспособились к тому, чтобы использовать то количество света, которое реально поступает на ту или иную глубину для накопления органического вещества. Однако по мере увеличения глубины процессы фотосинтеза ослабевают и постепенно уравниваются с процессами дыхания. Та зона, в пределах которой растения еще способны увеличивать биомассу, называется эвфотической.

Высокие скорости продуцирования биомассы наблюдаются в естественных и искусственных экосистемах там, где благоприятны абиотические факторы, и особенно при поступлении дополнительной энергии извне, что уменьшает собственные затраты системы на поддержание жизнедеятельности. Такая дополнительная энергия может поступать в разной форме: например, на возделываемом поле — в форме энергии ископаемого топлива и работы, совершаемой человеком или животным.

Оценивая продуктивность экосистемы, зависящую от соотношения P/D , необходимо учитывать как утечки энергии, связанные со сбором урожая, загрязнением среды, неблагоприятными климатическими условиями и с другими типами стрессовых воздействий, способствующих отведению энергии от процесса продукции — увеличению D , так и поступления энергии, которые увеличивают продуктивность P , компенсируя потери тепла при дыхании — при "откачивании неупорядоченности", необходимом для поддержания биологической структуры.

Таким образом, для обеспечения энергией всех особей сообщества живых организмов экосистемы необходимо определенное количественное соотношение между продуцентами, консументами разных порядков, детритофагами и редуцентами. Однако для жизнедеятельности любых организмов, а значит и системы в целом, только энергии недостаточно, они обязательно должны получать различные минеральные компоненты, микроэлементы, органические вещества, необходимые для построения молекул живого вещества.

Принцип стабильности экосистем

Все рассмотренные в предыдущем разделе закономерности касаются одной отдельно взятой популяции. В природных экосистемах популяции всех видов, населяющие данный биотоп, находятся в непрерывном взаимодействии между собой, образуя биотическое сообщество.

Когда экосистема включает небольшое число видов, пищевые связи в ней достаточно просты и очевидны: например, хищник — жертва, паразит — хозяин, фитофаг — растение и т.п. Для такого типа отношений в изменении численности взаимодействующих видов характерен сдвиг по фазе j .

Однако в экосистеме каждый организм зависит одновременно от нескольких хищников, нескольких паразитов, которых всех вместе называют естественными врагами. Поэтому в естественных экосистемах речь идет о равновесии между организмами данного вида и его естественными врагами. В единой пищевой сети равновесие значительно устойчивее и менее подвержено резким колебаниям, так как разные враги начинают снижать численность вида при разной плотности его популяции. Это значительно ослабляет изменение популяции жертвы.

Динамическое равновесие популяций в экосистеме не возникает автоматически, а устанавливается на протяжении многих тысяч и даже миллионов лет. За это время виды адаптируются друг к другу и к среде своего обитания, так что естественные враги поэтому сами останутся без источника существования. Они лишь ограничивают рост популяции при повышении ее плотности. Аналогичным образом у видов есть определенная устойчивость к естественным паразитам и болезнетворным агентам, которые не приводят к полному вымиранию популяции, но также регулируют ее плотность.

Такое взаимоприспособление крайне важно для равновесия популяций, а следовательно, и экосистем в целом. Популяции, развивающиеся в изоляции друг от друга, как правило, не могут существовать в равновесии. Например, интродуцированный вид не всегда сталкивается с естественными врагами, в результате чего происходит популяционный взрыв его численности, или, наоборот, он оказывается слишком "эффективным" естественным врагом, уничтожающим другие виды.

Равновесие и устойчивость экосистем

Каждая экосистема — это динамическая структура из сотен и тысяч видов продуцентов, консументов, детритофагов и редуцентов, которых связывают пищевые сети и непищевые взаимоотношения.

торых связывают пищевые сети и непищевые взаимоотношения. Встает вопрос: почему фитофаги не уничтожают все растения? Что препятствует хищникам истребить все свои жертвы? Почему один вид не может вытеснить все остальные в ходе конкуренции? Иначе говоря, за счет чего поддерживается стабильность, устойчивость экосистем?

Основная причина, позволяющая экосистемам длительное время сохранять постоянный видовой состав, а значит и устойчивость, заключается в том, что популяции, входящие в состав сообщества, находятся в динамическом равновесии.

Таким образом, равновесие экосистемы — это равновесие составляющих ее популяций. Устойчивое увеличение или уменьшение любой популяции приводит к изменению экосистемы в целом.

Для выяснения условий равновесия экосистем необходимо рассмотреть взаимодействие популяций данного вида с другими популяциями, а также реакции популяции в целом на изменение условий окружающей среды. В экологии этими вопросами занимается специальное направление — популяционная экология.

Практическая работа

Тема: «Поток энергии и продуктивность экосистем».

Цель работы: Научиться строить экологические пирамиды и познакомиться с основными направлениями потока энергии в экосистемах, показателями популяций.

Задание 1.

При описании экологических особенностей популяции серебряного карася использован не совсем верный подход.

В весенний период времени (апрель-май) наблюдается массовый нерест серебряного карася (*Carassius auratus*). Обычно фактором, лимитирующим этот процесс, является температура среды. В летний период времени, с увеличением кормовой базы, идет нагул молоди. К концу лета (август) сеголетки достигают массы 150–200 г. В сентябре происходит изменение абиотических характеристик среды — снижение температуры до 10–12°C, концентрации кислорода до 4–5 мг/л, начинается процесс температурного расслоения. Такое изменение биотопа приводит к изменению двигательной активности особей серебряного карася. Ближе к ледоставу (конец октября) особи начинают активно выбирать местообитания с повышенной концентрацией кислорода, формирующиеся в результате горизонтального и вертикаль-

ного перемешивания. Однако здесь они испытывают большее, чем обычно, влияние хищников. Эволюция популяции идет в направлении максимальной реализации биотического потенциала в оптимальных абиотических условиях при сохранении значительного воздействия биотических факторов (воздействие хищников), то есть в направлении формирования нового местообитания. *Какие изменения Вы могли бы внести в предложенный текст?*

Задание 2.

На схеме показана трофическая сеть Северного моря (рис.2.11), цифрами на которой показаны количества энергии, переносимой по пищевым цепям (в ккал/м²). Постройте пирамиду энергии для детритной и пастбищной трофических цепей. Какие трофические связи на данной схеме соответствуют петле обратной связи в энергии экосистемы? В чем их роль?

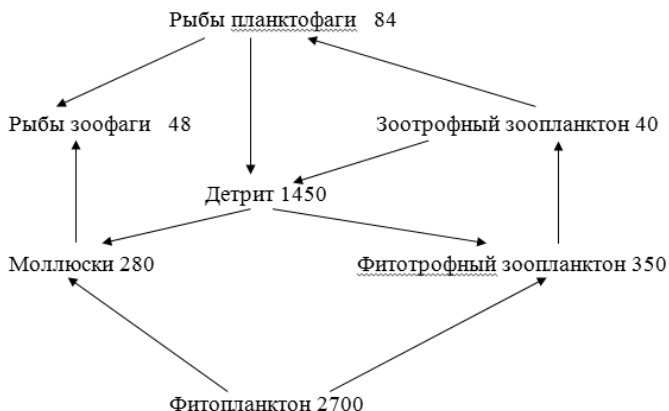


Рис. 2.11. Трофическая сеть Северного моря

Задание 3.

Для определения достаточности кормовой базы для разведения в водоеме белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*), основу которой составляют как организмы фито-, так и зоопланктона, использовалась следующая формула:

Кормовая база = Чистая продукция + Продукция фитопланктона + Продукция толстолобика.

Согласны ли Вы с использованным подходом?

Ответ поясните с использованием основных понятий теории продуктивности.

Задание 4.

В экосистеме солоноватого озера в конце июня — начале июля наблюдается массовое размножение ("цветение" воды) сине-зеленых водорослей (Cyanophyta). Предложите гипотезу, объясняющую время наступления данного явления с использованием характеристик абиотических и биотических условий, особенностей популяционной динамики. Предложите схему, отражающую влияние "цветения" водоема на биологические компоненты экосистемы.

Контрольные вопросы

1. Какие трофические уровни в пищевой цепи занимают продуценты и консументы первого, второго и третьего порядков?
2. От чего зависит видовой состав и насыщенность биоценоза?
3. Как влияют абиотические факторы среды на формирование видовой структуры биоценозов?

2.5. Биосфера

2.5.1. Биосфера как одна из оболочек Земли

Биосфера (греч. bios — жизнь, sphaira — шар, сфера) — сложная наружная оболочка Земли, населенная организмами, составляющими в совокупности живое вещество планеты. Это одна из важнейших геосфер Земли, являющаяся основным компонентом природной среды, окружающей человека.

Впервые термин «биосфера» был введен в науку геологом из Австрии Э. Зюссом в 1875 г. Он понимал под биосферой тонкую пленку жизни на земной поверхности. Роль и значение биосферы для развития жизни на нашей планете оказались настолько велики, что уже в первой трети XX в. возникло новое фундаментальное научное направление в естествознании — учение о биосфере, основоположником которого является великий русский ученый В. И. Вернадский.

Земля и окружающая ее среда сформировались в результате закономерного развития всей Солнечной системы. Около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в протосолнечной системе газопылеватого вещества образовалась планета Земля. Как и другие планеты, Земля получает энергию от Солнца, достигающую земной поверхности в виде электромагнитного излучения. Солнечное тепло — одно из главных

слагаемых климата Земли, основа для развития многих геологических процессов. Огромный тепловой поток исходит из глубин Земли.

По новейшим данным, масса Земли составляет $6 \cdot 10^{21}$ т, объем — $1,083 \cdot 10^{12}$ км³, площадь поверхности — 510,2 млн км. Размеры, а следовательно, и все природные ресурсы нашей планеты ограничены.

Наша планета имеет неоднородное строение и состоит из концентрических оболочек (геосфер) — внутренних и внешних. К внутренним относятся ядро, мантия, а к внешним — литосфера (земная кора), гидросфера, атмосфера и сложная оболочка Земли — биосфера.

Литосфера (греч. «литос» — камень) — каменная оболочка Земли, включающая земную кору мощностью (толщиной) от 6 (под океанами) до 80 км (горные системы). *Земная кора* сложена горными породами. Доля различных *горных пород* в земной коре неодинакова — более 70% приходится на базальты, граниты и другие магматические породы, около 17% — на преобразованные давлением и высокой температурой породы и лишь чуть больше 12% — на осадочные (глины, сланцы, пески и песчаники, карбонатные породы, прочие породы).

Земная кора — важнейший ресурс для человечества. Она содержит горючие полезные ископаемые (уголь, нефть, горючие сланцы), рудные (железо, алюминий, медь, олово и др.) и нерудные (фосфориты, апатиты и др.) полезные ископаемые, естественные строительные материалы (известняки, пески, гравий и др.).

Гидросфера (греч. «гидор» — вода) — водная оболочка Земли. Ее подразделяют на поверхностную и подземную.

Поверхностная гидросфера — водная оболочка поверхностной части Земли. В ее состав входят воды океанов, морей, озер, рек, водохранилищ, болот, ледников, снежных покровов и др. Все эти воды постоянно или временно располагаются на земной поверхности и носят название поверхностных.

Поверхностная гидросфера не образует сплошного слоя и прерывисто покрывает земную поверхность на 70,8%.

Подземная гидросфера включает воды, находящиеся в верхней части земной коры. Их называют подземными. Сверху подземная гидросфера ограничена поверхностью земли, нижнюю ее границу проследить невозможно, так как гидросфера очень глубоко проникает в толщу земной коры.

По отношению к объему земного шара общий объем гидросферы не превышает 0,13%. Основную часть гидросферы (96,53%) составляет Мировой океан. На долю подземных вод приходится

23,4 млн км², или 1,69% от общего объема гидросферы, остальное — воды рек, озер и ледников.

Более 98% всех водных ресурсов Земли составляют соленые воды океанов, морей и др. Общий объем пресных вод на Земле равен 28,25 млн км³, или около 2% общего объема гидросферы. Основная часть пресных вод сосредоточена в ледниках, воды которых пока используются очень мало. На долю остальной части пресных вод, пригодных для водоснабжения, приходится 4,2 млн км³ воды, или всего лишь 0,3% объема гидросферы.

Гидросфера играет огромную роль в формировании природной среды нашей планеты. Весьма активно она влияет и на атмосферные процессы (нагревание и охлаждение воздушных масс, насыщение их влагой и т. д.).

Атмосфера (греч. «атмос» — пар) — газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов (главные составные по объему: азот — 78,084%, кислород — 20,964%, аргон — 0,934%, углекислый газ — 0,034%), водяных паров и пыли (табл. 2.5). Атмосферу делят на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, экзосферу. Обширная область разреженной верхней атмосферы состоит преимущественно из ионов. Эта область обозначается как ионосфера. Общая масса атмосферы — $5,15 \cdot 10^{15}$ т. На высоте от 10 до 50 км, с максимум концентрации на высоте 20–25 км, расположен слой озона, защищающий Землю от чрезмерного ультрафиолетового облучения, губельного для *организмов*.

Таблица 2.5

Средний химический состав атмосферы

| Элемент | % (по объему) | % (по весу) |
|------------------|---------------------|----------------------|
| N ₂ | 78,08 | 75,51 |
| O ₂ | 20,95 | 23,15 |
| Ar | 0,93 | 1,28 |
| CO ₂ | 0,03 | 0,046 |
| Ne | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $1,25 \cdot 10^{-3}$ |
| He | $5,2 \cdot 10^{-4}$ | $0,72 \cdot 10^{-4}$ |
| CH ₄ | $2,2 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{-4}$ |
| Kr | $1,0 \cdot 10^{-4}$ | $2,9 \cdot 10^{-4}$ |
| N ₂ O | $1,0 \cdot 10^{-4}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ |
| H ₂ | $5,0 \cdot 10^{-5}$ | $0,3 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe | $8,0 \cdot 10^{-6}$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |
| O ₃ | $1,0 \cdot 10^{-6}$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |

Атмосфера физически, химически и механически воздействует на литосферу, регулируя распределение тепла и влаги.

Погода и климат на Земле зависят от распределения тепла, давления и содержания водяного пара в атмосфере. Водяной пар поглощает солнечную радиацию, увеличивает плотность воздуха и является источником всех осадков. Атмосфера поддерживает различные формы жизни на Земле.

В формировании природной среды Земли велика роль тропосферы (нижний слой атмосферы до высоты 8–10 км в полярных, 10–12 км в умеренных и 16–18 км в тропических широтах) и в меньшей степени стратосферы, области холодного разреженного сухого воздуха толщиной примерно 20 км. Сквозь стратосферу непрерывно падает метеоритная пыль, в нее выбрасывается вулканическая пыль, а в прошлом и продукты ядерных взрывов в атмосфере.

В тропосфере происходят глобальные вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс, во многом определяющие круговорот воды, теплообмен, трансграничный перенос пылевых частиц и загрязнений.

Атмосферные процессы тесно связаны с процессами, происходящими в литосфере и водной оболочке.

К атмосферным явлениям относят: осадки, облака, туман, грозу, гололед, пыльную (песчаную) бурю, шквал, метель, изморозь, росу, иней, обледенение, полярное сияние и др.

Атмосфера, гидросфера и литосфера тесно взаимодействуют между собой. Практически все поверхностные экзогенные геологические процессы обусловлены этим взаимодействием и проходят, как правило, в биосфере.

2.5.2. Состав и границы биосферы

Биосфера, являясь глобальной экосистемой (экосферой), как и любая экосистема, состоит из абиотической и биотической части.

Абиотическая часть представлена: 1) *почвой и подстилающими ее породами* до глубины, где в них еще есть живые организмы, вступающие в обмен с веществом этих пород и физической средой порового пространства; 2) *атмосферным воздухом* до высот, на которых возможны еще проявления жизни; 3) *водной средой* океанов, рек, озер и т. п.

Биотическая часть состоит из живых организмов всех таксонов, осуществляющих важнейшую функцию биосферы, без которой не может существовать сама жизнь, **биогенный ток атомов**. Живые

организмы осуществляют этот ток атомов благодаря своему дыханию, питанию и размножению, обеспечивая обмен веществом между всеми частями биосферы

Всю совокупность организмов на планете В.И. Вернадский называл **живым веществом**, рассматривая в качестве его основных характеристик суммарную массу, химический состав и энергию. Живое вещество образует ничтожно тонкий слой в общей массе геосферы Земли.

По подсчетам ученых, его масса составляет 2420 млрд т, что более чем в две тысячи раз меньше массы самой легкой оболочки Земли — атмосферы. Но эта ничтожная масса живого вещества встречается практически повсюду — в настоящее время живые существа отсутствуют лишь в области обширных оледенений и в кратерах действующих вулканов.

В состав биосферы кроме живого вещества (растительного, животного и микроорганизмов) входят **биогенное вещество** (продукты жизнедеятельности живых организмов — каменный уголь, битумы, нефть), **биокосное вещество** (продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами — почвы, кора выветривания, все природные воды, свойства которых зависят от деятельности на Земле живого вещества) и, наконец, **косное вещество** — совокупность тех веществ в биосфере, в образовании которых, как считается, живые организмы не участвуют (горные породы магматического, неорганического происхождения, вода, космическая пыль, метеориты).

Вглубь Земли живые организмы проникают на небольшое расстояние. В литосфере жизнь ограничивает, прежде всего, температура горных пород и подземных вод, которая постепенно возрастает с глубиной и на уровне 1,5–15 км превышает 100 °С. Наибольшая глубина, на которой в породах земной коры были обнаружены живые бактерии, составляет 4 км. В нефтяных месторождениях на глубине 2–2,5 км бактерии регистрируются в значительном количестве.

В океане жизнь распространена до более значительных глубин и встречается даже на дне океанических впадин в 10–11 км от поверхности.

Верхняя граница жизни в атмосфере определяется уровнем УФ-радиации. На высоте 25–30 км большую часть ультрафиолетового излучения Солнца поглощает находящийся здесь относительно тонкий слой озона — озоновый экран. Если живые организмы поднимаются выше защитного слоя озона, они погибают. Атмосфера над поверхно-

стью Земли насыщена многообразными живыми организмами, которые передвигаются в воздухе активным или пассивным способом. Споры бактерий и грибов обнаруживают до высоты 20–22 км, но основная часть аэропланктона сосредоточена в слое до 1–1,5 км. В горах граница распространения наземной жизни — около 6 км над уровнем моря.

Концентрация и активность жизни особенно велики у поверхности Земли. Водоемы заселены по всей толще, со сгущениями у поверхности и у дна. Выделяются своим богатством прибрежные и мелководные участки. На суше более 99% живого вещества, или биомассы, сосредоточено в слое на несколько метров вглубь и на несколько десятков метров (высокие деревья) вверх от поверхности. Следовательно, жизнь сосредоточена в тончайшей пленке планеты, где и протекают главные процессы взаимодействия живой и неживой (косной) природы. Этот тонкий деятельный слой нередко называют биосферой, биогеоценотическим покровом, ландшафтной оболочкой. Концентрации организмов в биосфере В.И. Вернадский назвал «пленками жизни».

Крайние пределы температур, которые выносят некоторые формы жизни (в латентном состоянии), — от практически абсолютного нуля до 180°C. Давление, при котором существует жизнь, — от малых долей атмосферы на большой высоте до тысячи и более атмосфер на больших глубинах. Для ряда бактерий верхние критические точки давления лежат в области 12 тыс. атм. Споры бактерий, конидий и мицелий некоторых грибов не теряют жизнеспособности в условиях высокого вакуума. Бактерии обнаружены в водах атомных реакторов, некоторые из них выдерживают облучение порядка 2–3 млн рад. При температурах жидкого воздуха (–192°C), гелия (–268,9°C), водорода (–259°C) ряд бактерий остается живым.

На основании приведенных данных можно сделать важный вывод: *выносливость жизни в целом к отдельным факторам среды шире диапазонов тех условий, которые существуют в границах современной биосферы.* Следовательно, жизнь обладает значительным «запасом прочности», устойчивости к воздействию среды и потенциальной способностью к еще большему распространению.

Живое вещество биосферы

Химический состав живых организмов во многом отличается от состава атмосферы и литосферы. Он ближе к химическому составу

гидросферы по абсолютному преобладанию атомов водорода и кислорода. Но в отличие от гидросферы в организмах относительно велика доля углерода, кальция и азота. Живое вещество в основном состоит из элементов, являющихся водными и воздушными мигрантами, т. е. образующих газообразные и растворимые соединения. Заслуживает внимания то обстоятельство, что 99,9% массы живых организмов приходится на те элементы, которые преобладают и в земной коре, составляя в них 98,8%, хотя и в других соотношениях. Таким образом, *жизнь есть химическое производное земной коры*. В организмах обнаружены почти все элементы таблицы Д. И. Менделеева, т. е. они характеризуются теми же химическими особенностями, что и неживая природа (табл. 2.6).

Элементы, содержащиеся в организмах, группируются не только по количественному принципу, но и по функциональному (физиологическому) критерию. В зависимости от количественного содержания и функциональной значимости элементарный набор организмов делят на три группы: макроэлементы, микроэлементы и ультрамикроэлементы.

Макроэлементы составляют основную массу органических и неорганических соединений живых организмов. Они требуются организмам постоянно и в большом количестве для осуществления жизненного цикла. Концентрация их изменяется от 60 до 0,001% массы тела. Это кислород, водород, углерод, азот, фосфор, кальций, калий, сера и др.

Таблица 2.6.

Средний химический состав живого вещества
(по А. П. Виноградову)

| Элемент | % | Элемент | % | Элемент | % | Элемент | % |
|---------|------|---------|-------------------|---------|---------------------|---------|--------------------|
| O | 70 | Cl | 0,02 | Zn | $5 \cdot 10^{-4}$ | As | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| C | 18 | Fe | 0,01 | Rb | $5 \cdot 10^{-4}$ | Co | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| H | 10,5 | Al | $5 \cdot 10^{-3}$ | Cu | $2 \cdot 10^{-4}$ | Li | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Ca | 0,5 | Ba | $3 \cdot 10^{-3}$ | V | $n \cdot 10^{-4}$ | Mo | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| K | 0,3 | Sr | $2 \cdot 10^{-3}$ | Cr | $n \cdot 10^{-4}$ | Y | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| N | 0,3 | Mn | $1 \cdot 10^{-3}$ | Br | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | Cs | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Si | 0,2 | B | $1 \cdot 10^{-3}$ | Ge | $1 \cdot 10^{-4}$ | Se | $< 10^{-5}$ |
| Mg | 0,04 | Ti | $8 \cdot 10^{-4}$ | Ni | $5 \cdot 10^{-5}$ | U | $< 10^{-6}$ |
| P | 0,07 | F | $5 \cdot 10^{-4}$ | Pb | $5 \cdot 10^{-5}$ | Hg | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| S | 0,05 | | | Sn | $5 \cdot 10^{-5}$ | Ra | $1 \cdot 10^{-12}$ |
| Na | 0,02 | | | | | | |

Микроэлементы — преимущественно ионы тяжелых металлов являются компонентами ферментов, гормонов и других жизненно важных соединений. Они столь же необходимы для жизнедеятельности, как макроэлементы, но требуются в значительно меньших концентрациях. Содержание их изменяется от 0,001 до 0,00001% массы тела. В данную группу входят марганец, бор, кобальт, медь, молибден, цинк, йод, бром, алюминий и др.

В зависимости от валентного состояния и структуры электронных уровней роль каждого микроэлемента строго специфична, и поэтому их нельзя заменить в биохимических процессах никаким другим химическим элементом. В силу этого каждый микроэлемент выполняет свою роль без дублеров.

Содержание **ультрамикроэлементов** (к ним относятся уран, радий, золото, ртуть, бериллий, цезий, селен и другие рассеянные и редкие элементы) не превышает обычно 0,00001% массы тела. Физиологическая роль их в организмах растений и животных полностью еще не выяснена.

Наземными растениями включено в жизненные циклы не менее 340 млрд т химических элементов в виде минеральных веществ. Большинство их активно участвует в метаболических (обменных) процессах, а часть находится в связанном состоянии. Важной особенностью минеральных компонентов растений различных групп является регулярно повторяемое вовлечение их в жизненные процессы и возвращение обратно в среду (например, с опадающими листьями и другими отмирающими органами). При этом чем больше зольность растений и величина их биомассы, тем выше годичный оборот элементов минерального питания.

В растительности Мирового океана сравнительно немного химических элементов — $36 \cdot 10^6$ т, т. е. всего 0,01% количества, содержащегося в наземной растительности.

Особенности живого вещества

Главной отличительной особенностью живого вещества в целом является **способ использования энергии**. Живые существа — уникальные природные объекты, могущие улавливать энергию, которая приходит из космоса преимущественно в виде солнечного света, удерживать ее в виде сложных органических соединений (биомассы), передавать друг другу, трансформировать в механическую, электрическую, тепловую и другие виды энергии. Косные (неживые) тела не

способны к столь сложным преобразованиям энергии, они преимущественно рассеивают ее: камень нагревается под действием солнечной энергии, но не может ни сойти с места, ни увеличить свою массу.

Другая особенность живых организмов состоит в их уникальной способности к самовоспроизведению, т. е. к производству на протяжении многих поколений форм, практически идентичных по структуре и функционированию.

Живое вещество нашей планеты существует в виде огромного множества организмов разнообразных форм и размеров, со своими индивидуальными признаками.

Функции живого вещества

Различают пять основных функций живого вещества в масштабах планеты Земля: энергетическую, газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную и деструкционную.

Энергетическая функция состоит в осуществлении связи биосферно-планетарных явлений с излучением Космоса, и прежде всего с солнечной радиацией. Основой указанной функции является фотосинтез, в процессе которого происходит аккумуляция энергии Солнца и ее последующее перераспределение между компонентами биосферы. Накопленная солнечная энергия обеспечивает протекание всех жизненных процессов. За время существования жизни на Земле живое вещество превратило в химическую энергию огромное количество солнечной энергии. При этом существенная часть ее в ходе геологической истории накопилась в связанном виде (залежи угля, нефти и других органических веществ).

Благодаря **газовой функции** происходит миграция газов и их прекращение, формируется газовый состав биосферы. Отметим, что преобладающая масса газов на планете имеет биогенное происхождение. Так, кислород атмосферы накоплен за счет фотосинтеза. При этом количество молекул кислорода, выделяемых земными растениями, пропорционально количеству связываемых водой молекул диоксида углерода. Последний поступает в атмосферу за счет дыхания всех организмов. Другой, не менее мощный его источник — выделение по трещинам земной коры из осадочных пород за счет химических процессов под действием высоких температур.

Концентрационная функция проявляется в извлечении и накоплении живыми организмами биогенных элементов из окружающей

среды, которые используются для построения тела. Концентрация этих элементов в теле живых организмов в сотни и тысячи раз выше, чем во внешней среде.

Окислительно-восстановительная функция заключается в химическом превращении веществ, которые содержат атомы с переменной степенью окисления (это в основном соединения железа, марганца и др.). В результате происходят превращения большинства химических соединений, при этом преобладают биогенные процессы окисления и восстановления.

Благодаря **деструкционной функции** протекают процессы, связанные с разложением остатков мертвых организмов. При этом происходит минерализация органического вещества, т. е. превращение живого вещества в косное.

Таким образом, живое вещество трансформирует солнечную энергию и вовлекает неорганическую материю в непрерывный круговорот. Живое вещество определило современный состав атмосферы, гидросферы, почв и в значительной степени осадочных пород Земли. В.И. Вернадский писал: «Прекращение жизни было бы неизбежно связано с прекращением химических изменений если не всей земной коры, то во всяком случае ее поверхности — лика Земли, биосферы».

2.5.3. Круговорот веществ в природе

Так как Земля есть конечное физическое тело, то любые химические элементы (в чистом виде или в виде соединений) также физически конечны. За миллионы лет их ассимиляции фотосинтетиками, т. е. превращения в более сложные вещества, они должны, казалось бы, быть давно исчерпанными, полностью связанными в мертвой органике, превратиться в косную материю. Однако этого не происходит.

Чтобы биосфера продолжала существовать и на Земле не прекращалось развитие жизни, должны происходить непрерывные химические превращения ее живого вещества. Иными словами, вещества после использования одними организмами должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Такая циклическая миграция веществ и химических элементов может осуществляться только при определенных затратах энергии, источником которой является Солнце.

Из-за геологических изменений лика Земли часть вещества биосферы может исключаться из этого круговорота. Например, такие биогенные осадки, как каменный уголь, нефть на многие тысячелетия консервируются в толще земной коры, но в принципе не исключено их повторное включение в биосферный круговорот.

Круговорот веществ — это многократное участие веществ в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере, литосфере, в том числе и тех их слоях, которые входят в биосферу планеты. При этом выделяют два основных круговорота: большой (геологический) и малый (биогенный и биохимический).

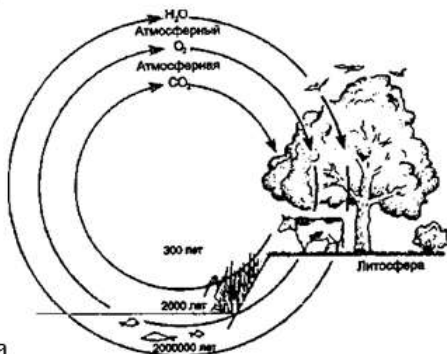
Большой круговорот длится сотни миллионов лет. Горные породы подвергаются разрушению, выветриванию, а продукты выветривания, в том числе растворимые в воде питательные вещества, сносятся потоками воды в Мировой океан. Здесь они образуют морские напластования и лишь частично возвращаются на сушу с осадками, с извлеченными человеком из воды организмами. Крупные, но медленно протекающие геотектонические изменения (опускание материков и поднятие морского дна, перемещение морей и океанов) приводят к тому, что эти напластования возвращаются на сушу и процесс повторяется. Границы геологического круговорота значительно шире границ биосферы, его амплитуда захватывает слои земной коры далеко за пределами биосферы. И самое главное — в процессах указанного круговорота живые организмы играют второстепенную роль.

Большой круговорот вещества в природе (геологический) обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и осуществляет перераспределение вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли.

Малый круговорот веществ в биосфере (биогеохимический), в отличие от большого, совершается лишь в пределах биосферы.

Поверхность Земли получает ежегодно от Солнца около $5 \cdot 10^{20}$ ккал лучистой энергии. Примерно половина этой энергии тратится на испарение воды, приводя в движение большой круговорот; на создание органического вещества расходуется всего 0,1–0,2%. Таким образом, энергия биологического круговорота ничтожно мала по сравнению с энергией, расходуемой на абиотические процессы.

атмосфера



гидросфера

Рис. 2.12. Круговороты воды, кислорода и углекислого газа

Оба круговорота взаимно связаны и представляют как бы единый процесс. Подсчитано, что весь кислород, содержащийся в атмосфере, оборачивается через организмы (связывается при дыхании и высвобождается при фотосинтезе) за 2000 лет, углекислота атмосферы совершает круговорот в обратном направлении за 300 лет, а все воды на Земле разлагаются и воссоздаются путем фотосинтеза и дыхания за 2 000 000 лет (рис.2.12).

Рассмотрим более подробно основные биохимические круговороты.

Круговорот воды

Самый значительный по переносимым массам и по затратам энергии круговорот на Земле — это планетарный гидрологический цикл — круговорот воды (рис. 2.13).

Каждую секунду в него вовлекается $16,5 \text{ млн м}^3$ воды, и тратится на это более 40 млрд МВт солнечной энергии (по Т. А. Акимовой В. В. Хаскину, 1994). Но данный круговорот — это не только перенос водных масс. Это фазовые превращения, образование растворов и взвесей, выпадение осадков, кристаллизация, процессы фотосинтеза, а также разнообразные химические реакции. В этой среде возникла и продолжается жизнь. Вода — основной элемент, необходимый для жизни. Количественно это самая распространенная неорганическая составляющая живой материи. У человека вода составляет

63% массы тела, грибов — 80%, растений — 80–90%, а у некоторых медуз — 98%.

Вода, участвующая в биологическом круговороте и служащая источником водорода и кислорода, составляет лишь небольшую часть своего общего объема. В жидком, твердом и парообразном состояниях вода присутствует во всех трех главных составных частях биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере. Все воды объединяются общим понятием гидросферы.

Составные части гидросферы связаны между собой постоянным обменом и взаимодействием.

Вода, непрерывно переходя из одного состояния в другое, совершает малый и большой круговороты. Испарение воды с поверхности океана, конденсация водяного пара в атмосфере и выпадение осадков на поверхность океана образуют *малый круговорот*. Когда водяной пар переносится воздушными течениями на сушу, круговорот становится значительно сложнее. При этом часть осадков испаряется и поступает обратно в атмосферу, другая — питает реки и водоемы, но в итоге вновь возвращается в океан речным и подземным стоками, завершая тем самым *большой круговорот*.

Над океанами выпадает 7/9 общего количества осадков, а над континентами 2/9. Замкнутая, бессточная часть суши в 3,5 раза беднее осадками, чем периферийная часть суши. Вода, выпавшая на сушу, в процессе фильтрации через почву обогащается минеральными и органическими веществами, образуя подземные воды. Вместе с поверхностными стоками она поступает в реки, а затем в океаны. Поступление воды в Мировой океан (осадки, приток речных вод) и испарение с его поверхности составляет 1260 мм в год.

Несмотря на относительно малую толщину слоя водяного пара в атмосфере (0,03 ярды), именно атмосферная влага играет основную роль в циркуляции воды и ее биогеохимическом круговороте. В целом для всего земного шара существует один источник притока воды — атмосферные осадки и один источник расхода — испарение, составляющее 1030 мм в год. В жизнедеятельности растений огромная роль воды принадлежит осуществлению процессов фотосинтеза (важнейшее звено биологического круговорота) и транспирации.

роорганизмами) (рис.2.14). По определению Н.П. Ремезова, Л.Е. Родина и Н. И. Базилевич, биотический (биологический) круговорот – это поступление химических элементов из почвы, воды и атмосферы в живые организмы, превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их обратно в процессе жизнедеятельности с ежегодным спадом части органического вещества или полностью отмершими организмами, входящими в состав экосистемы.

Сейчас же мы представим биотический круговорот в циклической форме (рис. 2.15). Первичный биотический круговорот состоял из примитивных одноклеточных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д). Микроорганизмы способны быстро размножаться и приспосабливаться к разным условиям, например, использовать в своем питании всевозможные субстраты — источники углерода. Высшие организмы такими способностями не обладают. В целостных экосистемах они могут существовать в виде надстройки на фундаменте микроорганизмов.

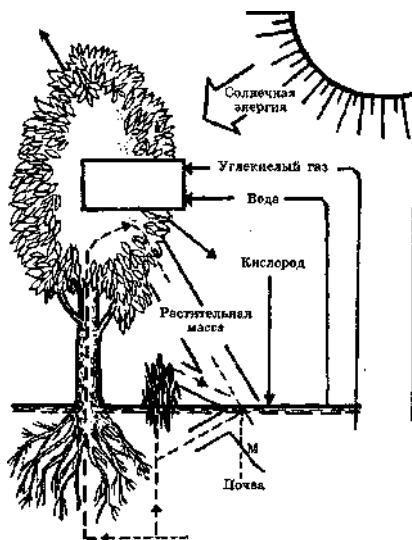


Рис. 2.14. Схема биогеохимического круговорота веществ на суше

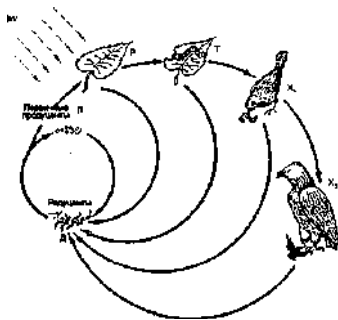


Рис. 2.15. Структурные циклы биотического круговорота

Пояснения: внутреннее малое кольцо — первичный биотический круговорот с участием примитивных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д); Р — растения; Т — первичные консументы (растительноядные животные); X_1 и X_2 — вторичные и третичные консументы (хищники). Все циклы замыкаются редуцентами

Вначале развиваются многоклеточные растения (Р) — высшие продуценты. Вместе с одноклеточными они создают в процессе фотосинтеза органическое вещество, используя энергию солнечного излучения. В дальнейшем подключаются первичные консументы — растительноядные животные (Т), а затем и плотоядные консументы. Нами был рассмотрен биотический круговорот суши.

Все организмы занимают определенное место в биотическом круговороте и выполняют свои функции по трансформации достигающих их ветвей потока энергии и по передаче биомассы. Всех объединяет и замыкает общий круг система одноклеточных редуцентов (деструкторов). В абиотическую среду биосферы они возвращают все элементы, необходимые для новых и новых оборотов.

Каждый вид организмов представляет собой звено в биотическом круговороте. Используя в качестве средств существования тела или продукты распада одних организмов, он должен отдавать в среду то, что могут использовать другие. Особенно велика роль микроорганизмов. Минерализуя органические остатки животных и растений, микроорганизмы превращают их в минеральные соли и простейшие органические соединения типа биогенных стимуляторов, снова используемые зелеными растениями при синтезе нового органического вещества.

Круговорот углерода

В круговороте углерода, а точнее наиболее подвижной его формы — CO_2 , четко прослеживается трофическая цепь: продуценты, улавливающие углерод из атмосферы при фотосинтезе, консументы — поглощающие углерод вместе с телами продуцентов и консументов низших порядков, редуценты — возвращающие углерод вновь в круговорот. Скорость оборота CO_2 составляет порядка 300 лет (полная его замена в атмосфере).

В Мировом океане трофическая цепь «продуценты (фитопланктон) — консументы (зоопланктон, рыбы) — редуценты (микроорганизмы)» осложняется тем, что некоторая часть углерода мертвого организма, опускаясь на дно, «уходит» в осадочные породы и участвует уже не в биологическом, а в геологическом круговороте вещества.

Главным резервуаром биологически связанного углерода являются леса, они содержат до 500 млрд т этого элемента, что составляет 2/3 его запаса в атмосфере. Вмешательство человека в круговорот углерода приводит к возрастанию содержания CO_2 в атмосфере.

Круговорот азота. Хотя атмосфера содержит огромный запас азота ($3,8 \cdot 10^{15}$ т) Мировой океан — $2 \cdot 10^{13}$ т, атмосферный азот в форме N_2 не может быть напрямую использован большинством живых организмов.

При осуществлении круговорота соединений азота главную роль играют микроорганизмы: азотфиксаторы, нитрификаторы, денитрификаторы, которые способствуют биологической фиксации азота воздуха, т. е. переводят его в усвояемую для живых организмов форму. Азотфиксирующие организмы суши ежегодно улавливают около $4,4 \cdot 10^{10}$ т азота, а в водной среде ежегодная биологическая фиксация его составляет $1,0 \cdot 10^{15}$ т. В то же время содержание азота в наземных организмах составляет $1,22 \cdot 10^{10}$ т, а в донных организмах — всего $0,025 \cdot 10^{10}$ т (в 50 раз меньше). В целом в биосфере ежегодная фиксация азота из воздуха составляет в среднем $140\text{--}700 \text{ мг/м}^2$. В основном это биологическая фиксация, и лишь небольшое количество азота (в умеренных областях не более 35 мг/м^2) фиксируется в результате электрических разрядов и фотохимических процессов.

Возвращение азота в атмосферу происходит вследствие денитрификации, которая осуществляется как при участии бактерий, так и в ходе химических реакций без участия организмов. Другие этапы круговорота также во многом зависят от деятельности бактерий, ко-

которые переводят азот из одних форм в другие. Важнейший из этапов — разложение тел отмерших организмов, в результате чего восполняется фонд неорганических соединений азота, доступных для использования растениями.

Круговорот азота в большинстве сообществ замкнутый, лишь небольшие количества этого элемента выносятся из наземных сообществ со стоком. Однако в масштабах всей биосферы реки выносят в океан около 30 млн т азота в год.

Круговорот кислорода является планетарным процессом, связывающим атмосферу и гидросферу с земной корой. Основными узловыми звеньями его являются: образование свободного кислорода при фотосинтезе, последующие затраты на дыхание, протекание реакций окисления органических остатков и неорганических веществ (например, сжигание топлива) и других химических преобразований. Они способствуют образованию таких окисленных соединений, как диоксид углерода, вода, после чего указанные вещества вовлекаются в новый цикл фотосинтетических превращений. Подсчитано, что весь кислород атмосферы проходит через живое вещество Земли за 2 тысячи лет.

Круговорот кислорода есть ярко выраженная активная геохимическая деятельность живого вещества, его роль ведущая в этом циклическом процессе. Ежегодное продуцирование кислорода зеленой растительностью планеты составляет около $300 \cdot 10^9$ т. При этом почти $3/4$ этого количества выделяется растительностью суши и лишь немногим более четверти — фотосинтезирующими организмами Мирового океана. Кислорода в газовой оболочке Земли около $1,2 \cdot 10^{15}$ т; подсчитано, что такое количество фотосинтезирующие организмы могли бы выработать за 4 тыс. лет. В океане содержание свободного кислорода намного меньше: от 2,7 до $10,9 \cdot 10^{12}$ т (согласно А. Д. Добровольскому, 1980 г.).

Помимо вышеупомянутых основных элементов, которые принимают участие в биологическом круговороте веществ, важную роль играют также калий, фосфор, сера, натрий и некоторые другие элементы, входящие в состав питания растений. В той или иной степени все элементы таблицы Д. И. Менделеева вовлечены в биологический круговорот.

Таким образом, биотический круговорот планеты даже в своем грубом количественном выражении представляется сложной системой частных круговоротов — экологических систем, связанных между собой различными формами взаимодействия.

Следует в то же время уточнить, что термин «круговорот веществ» употребляется в переносном смысле. Истинный круговорот совершают элементы: углерод, кислород, водород, азот и др. На каждом этапе круговорота они входят в состав различных соединений — простых (вода) или сложнейших (живой белок), а иногда выступают и в свободном состоянии. Поэтому более точно было бы говорить о *круговороте элементов*, а не о круговороте веществ.

2.5.4. Эволюция биосферы

Большинство утверждений и заключений, касающихся возникновения и эволюции биосферы, носит гипотетический характер. Это предположительные суждения о различных стадиях процесса эволюции, которые не противоречат современным физическим, химическим, биохимическим и другим законам, но которые невозможно полностью, а иногда и частично подтвердить экспериментально. Такие гипотезы касаются следующих ключевых моментов эволюции биосферы.

1. Теория Большого взрыва как гипотеза зарождения Вселенной.

В 1922 г. советский математик и геофизик Александр Александрович Фридман нашел решение уравнений общей теории относительности Альберта Эйнштейна. Оказалось, что решение является нестационарным, то есть Вселенная должна либо расширяться, либо сжиматься. В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил разбегание галактик, что свидетельствовало о расширении Вселенной. Обращая мысленно вспять картину расширения Вселенной, ученые пришли к выводу что примерно 20 млрд лет назад Вселенная была сжатой в точку и имела сколько угодно большую плотность. В результате Большого взрыва она начала расширяться, иначе говоря существовать. Ученые смогли восстановить картину развития Вселенной с малых долей первой секунды после Большого взрыва, но никто не знает ни причин, вызвавших взрыв, ни то, что было до него. «Теория Большого взрыва в настоящее время столь надежно установлена и верна, сколько верно то, что Земля вращается вокруг Солнца», — констатировал академик, советский физик-теоретик Зельдович в 1982 г. на международном конгрессе. Спустя 15 млрд лет после Большого взрыва, то есть примерно 5 млрд лет назад, сформировалась планета Земля как космическое тело.

2. Теория А. И. Опарина как гипотеза возникновения жизни (органических веществ, предбиологических структур) на планете Земля.

Теория возникновения жизни (а точнее предбиологических структур) на Земле принадлежит советскому биохимику-академику Александру Ивановичу Опарину, который сформулировал ее в 1922 г. в возрасте 28 лет. Он предположил, что из молекул водяных паров, метана, аммиака и углекислого газа, составлявших атмосферу планеты на этапе ее формирования как космического тела, в результате случайных комбинаций под действием высоких температур от искровых разрядов, пронизывающих тогда еще бурлящую и клокочущую планету, стало возможным образование более сложных соединений. С точки зрения зарождения будущей жизни особенно важным было образование аминокислот — тех кирпичиков, из которых строится основа жизни — белок. Их накопление в течение многих миллионов лет привело к образованию «питательного бульона жизни» — раствора молекул различных аминокислот. Для подтверждения возможности такого процесса в 1952 г. молодой американский химик Стенли Миллер провел довольно простой и интересный опыт. Он сделал смесь, которая, как считается, была первоначальной атмосферой Земли, и стал пропускать через нее электрические разряды, имитирующие молнии. Через неделю был произведен химический анализ смеси. В сосуде была обнаружена смесь аминокислот. Позже этот эксперимент был повторен многими исследователями. Дальнейшая судьба «бульона» складывалась уже под воздействием второго начала термодинамики. В соответствии с этим законом большие молекулы не могут быть равномерно распределены в растворе. Под действием электростатических сил они начинают объединяться в отдельные образования типа комочков геля, обрстая все новыми и новыми молекулами и образуя нечто, подобное капле. Каждая сформировавшаяся таким образом капля имеет сугубо индивидуальную структуру, состав которой случаен. Далее начинает работать своеобразный отбор: устойчивые комбинации молекул сохраняются, неустойчивые — распадаются, а из их осколков образуются другие варианты случайных конструкций. Достигнув определенных размеров, капля, не будучи прочной, рассыпалась на две-три части под действием внешних механических сил. Образовавшиеся вновь капли по структуре совпадали с первоначальной. Они как бы унаследовали от исходной капли ее индивидуальные особенности. Они вновь начинали «расти», дробились и т. д. Однако это еще не было живым веществом, это была так называемая предбиологическая структура. Прошло еще много миллионов лет, прежде чем эти капли превратились в живые клетки. По мнению ученых, уже через каких-

нибудь 1,0–1,5 млрд лет появились многоклеточные организмы. Жизнь из плесневой и слизистой формы стала активной жизнью привычных нам существ. Теория А. И. Опарина завоевала широкое признание, но она оставляет нерешенными проблемы, связанные с переходом от сложных органических веществ к простым живым организмам.

3. Большой биологический взрыв как гипотеза перехода от неживой к живой форме организации материи.

Еще Луи Пастер в XIX в. первым обратил внимание на то, что в неживой природе молекулы либо зеркально симметричны (H_2O , CO_2), либо одинаково часто встречаются их правые и левые стереоизомеры. Молекулы, из которых построены живые организмы, зеркально асимметричны, то есть киральны, чаще всего они подобны винтам, а во многих случаях ими и являются (например, двойная спираль молекулы ДНК). Но самое главное, эти молекулы встречаются в природе лишь в каком-то одном варианте — либо только левом, либо только правом это так называемые кирально чистые молекулы (так, спираль молекулы ДНК всегда только правая). Пастер, а затем Вернадский полагали, что именно здесь проходит граница между химией живой и неживой природы. Можно сказать, что в отличие от неорганических объектов живые организмы построены из винтов, причем винты одного типа только левые, другого — только правые. Специфика живой природы — киральная чистота молекул. Человек как живой организм построен из молекул определенной киральности (для одних видов молекул — левой, для других — правой). Потребляемая человеком органическая пища также построена из молекул определенной киральности. Ясно, что киральность молекул пищи согласуется с киральностью молекул человеческого организма (подобно тому, как правые гайки согласуются с правыми винтами, а левые — с левыми). А что будет, если киральность молекул пищи вдруг изменится? Такая пища будет уже непригодной (как непригодны левые гайки для правых болтов), она может оказаться биологически ядовитой. Современная химия в ряде случаев искусственно получает зеркально отраженные стереоизомеры; их действие на организм человека оказывается совершенно иным по сравнению с действием природных стереоизомеров. Так "отраженный" стереоизомер витамина С не воспринимается организмом; добавки в пищу некоторых искусственно полученных "отраженных" стереоизомеров, например фенилаланина, приводят к резкому нарушению обмена веществ, сопровождающемуся умопо-

мешательством. Именно с вопросами зеркальной симметрии-асимметрии на молекулярном уровне тесно связана проблема возникновения жизни на Земле — ведь живая материя возникла в свое время из неживой! Это возникновение обусловлено нарушением существовавшей до того зеркальной симметрии, образованием кирально чистых молекул. Современная наука пришла к выводу, что переход от мира зеркально симметричных соединений к кирально чистому состоянию живого вещества биосферы произошел не в процессе длительной эволюции, а скачком — в виде своеобразного Большого биологического взрыва. Происхождение этого состояния связано с катастрофой, то есть с достижением развивающейся средой критической точки (точки бифуркации), за которой теряется устойчивость прежнего симметричного состояния. Это акт самоорганизации материи. По некоторым оценкам, процесс глобального перехода к киральной чистоте значительной части молекул мог произойти всего за 1–10 млн лет. Появление живого вещества ознаменовало собой переход от геохимической эволюции к биогеохимической. Мы отметили принципиальную физико-химическую разницу между живым и неживым веществом: живое — кирально асимметрично, неживое — симметрично. Для возникновения этой разницы были необходимы уникальные и неповторимые условия ранней эволюции Земли как планеты. Но как только появились первые предбиологические формы и праорганизмы, начал действовать принцип Реди: живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непроходимая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие. Это обобщение было сделано итальянским естествоиспытателем и врачом Реди еще в XVII веке. Если бы сложились локальные условия для возникновения жизни в наши дни (например, в жерле потухшего вулкана) или она была бы привнесена из космоса, то либо не смогла бы долго существовать, либо стала бы глобальным бедствием. В первом случае она была бы уничтожена ныне существующими организмами, во втором — подавила бы их. Но второй вариант маловероятен: живое достаточно хорошо приспособлено к условиям Земли и потому обладает большой надежностью. В развитой биосфере повторное возникновение живого исключено.

Современная биосфера

Переходя к характеристике современного состояния биосферы, необходимо, прежде всего, указать на значительный прогресс эколо-

гии — области знаний, которая на сегодняшний день охватывает практически все стороны человеческой деятельности, особо подчеркивает нарастающую интенсивность антропогенного воздействия на экосистемы. Основной особенностью, очевидным фактом на сегодняшний день стал планетарный характер, глобальный масштаб объективных изменений экологических параметров внешней среды. Эти особенности динамических изменений в биосфере, естественно, требуют своего решения на уровне социально-экономической ориентации развития человеческого сообщества в пользу экологически оправданных действий. В 70-х годах XX в. вошло в употребление понятие «экологического кризиса». Под экологическим кризисом понимается та стадия взаимодействия между обществом и природой, на которой до предела обостряются отношения между экономикой потребления с одной стороны и экологическими требованиями и возможностями окружающей человека среды с другой; это устойчивое нарушение равновесия между обществом и природой, проявляющееся в деградации природной среды.

Для последовательного описания любого процесса необходимо остановиться на какой-либо, в данном случае на экологической оценке, констатации результатов наблюдений; взять за основу какой-либо единый критерий. Можно использовать показатели темпов самовосстановления природных систем и качественно-количественное состояние биомассы и продуктивности этих систем.

- 1) ЕСТЕСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ — наблюдается лишь фоновое антропогенное воздействие, биомасса максимальна, биологическая продуктивность минимальна;
- 2) РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ — скорость восстановительных процессов выше или равна темпу нарушений, биологическая продуктивность больше естественной, биомасса начинает снижаться;
- 3) КРИЗИСНОЕ СОСТОЯНИЕ — антропогенные нарушения превышают по скорости естественно-восстановительные процессы, но сохраняется естественный характер экосистем, биомасса снижена, биологическая продуктивность резко повышена;
- 4) КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ — обратимая замена прежде существовавших экологических систем под антропогенным воздействием на менее продуктивные (частичное опустынивание), биомасса мала, и, как правило, снижается, биологическая продуктивность очень неоднородна и резко падает;

- 5) КАТАСТРОФИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ — трудно обратимый процесс закрепления малопродуктивных экосистем (сильное опустынивание), биомасса и биологическая продуктивность минимальны;
- 6) СОСТОЯНИЕ КОЛЛАПСА — необратимая утрата биологической продуктивности, биомасса стремится к нулю.

Наряду с научной классификацией степени антропогенного воздействия на элементы биосферы необходима и более социально адаптированная классификация, которая учитывает реальные условия проживания населения и, как результат, показатели здоровья.

1. Зона напряженной экологической ситуации (экологически проблемная зона) — ареал, в пределах которого наблюдается переход состояния природы от кризисного к критическому; и территория, где отдельные показатели здоровья населения (заболеваемость детей, взрослых, число психических отклонений и т. п.) достоверно выше нормы, существующей в аналогичных местах проживания, не подвергающихся антропогенному воздействию данного типа и данной интенсивности. Но это состояние еще не приводит к заметным и статистически достоверным изменениям продолжительности жизни населения и более ранней инвалидности людей, профессионально не связанных с источником воздействия.

Показатели здоровья населения могут быть как натуральными, так и расчетными. Учет расчетных показателей более предпочтителен в момент принятия социально-экономических решений, полезен для предотвращения дальнейшего ухудшения здоровья населения.

2. Зона экологического бедствия — ареал, в пределах которого наблюдается переход от критического состояния природной среды обитания к катастрофическому, и территория, в пределах которой в результате антропогенного (редко природного) воздействия невозможно социально-экономически оправданное ведение хозяйства. Показатели здоровья населения (перинатальная, детская смертность, заболеваемость детей и взрослых, психические отклонения и т.п.), частота и скорость наступления инвалидности значительно выше, а продолжительность жизни людей заметно и статистически достоверно ниже, чем на аналогичных территориях, не подвергавшихся подобным воздействиям или бывших в том же ареале до констатации рассматриваемых воздействий.

3. Зона экологической катастрофы — переход состояния природной среды от катастрофической фазы к коллапсу, что делает территорию непригодной для жизни человека. Возникший в результате

природных явлений и антропогенных воздействий ареал смертельно опасен для жизни людей.

Современные темпы развития производства, технических возможностей промышленности ставят жесткие условия необходимости перспективного расчета, т. е. моделирования целесообразности видов человеческой деятельности.

2.5.5. Учение о ноосфере

Одним из уникальных этапов эволюции биосферы явилось возникновение разума и интеллекта как высшей познавательной способности живого организма. Это столь же загадочная и необъяснимая перестройка процесса развития материального мира, как и возникновение жизни. Мозг человека и мозг животного, особенно высших млекопитающих, состоит из одних и тех же нейронов. При этом мозг человека обладает способностью познавать сам себя, видеть себя со стороны, познавать окружающий мир. Благодаря появлению разума возникает общество — совокупность индивидуумов, способных к совместному труду, к планомерной деятельности, к совместной духовной жизни. Появление интеллекта радикальным образом ускорило темпы практически всех процессов, протекающих во внешней оболочке Земли — биосфере. Но был один процесс, который вследствие появления интеллекта стал замедляться — это развитие человека как биологического вида, а примерно 30–40 тысяч лет назад механизм генетического развития человека на основе внутривидового отбора перестал функционировать. Эволюция, морфологическое совершенствование человека, в том числе и развитие мозга, закончились! Почему это произошло? Для отказа от дальнейшего использования механизма, которому человек обязан своим утверждением на вершине биологической пирамиды, должны были быть неординарные причины. Одна из гипотез (академика Никиты Николаевича Моисеева) основывается на том, что на определенном этапе эволюции наших предков помимо силы, выносливости и других чисто физических качеств, определяющих выживание прачеловека, стала осознаваться определяющая роль знания, опыта и мастерства. Знания и опыт повлекли за собой формулирование целого ряда запретов (табу) в поведении и действиях членов общества. Мудрецы и умельцы, которые во все большей степени обеспечивали благосостояние рода или племени, далеко не всегда были самыми сильными и смелыми членами общества, кому обычно естественный внутривидовой отбор давал преимущества. Жизненной необходимостью рода-племени стала защита не толь-

ко самок и потомства, но и тех, кто оказывался носителем знаний и мастерства. На этой основе сформировался важнейший из всех запретов — «не убий!» В силу его исключительной важности для любой человеческой общности он оказался в основе морали и существует в том или ином виде у всех народов, во всех религиях. Возникновение именно этого запрета, вероятно, и поставило предел морфологическому совершенствованию организма человека. В самом деле, указанный запрет способствовал выживанию тех умельцев, которые способны не только хранить нужные знания и навыки, но и приобретать новые и, что самое главное, передавать их другим поколениям. Принцип «не убий!» разрешал противоречие между сильным и умным в пользу последнего. Защита слабых — эта дополнительная и весьма обременительная нагрузка, которую по необходимости взяло на себя рождавшееся общество, — прекратила действие естественного отбора, а следовательно, и индивидуальное развитие человека. Появление жизни на планете Земля — это реализация одной из возможных форм самоорганизации материи. Это естественный процесс космического масштаба. То же самое можно сказать и о двух рассматриваемых явлениях эволюции живого вещества на Земле — возникновении разума и норм морали. Так же, как и возникновение жизни, они есть формы самоорганизации материи. Являются ли они неизбежной фазой развития живого? Очевидно, нет. Это связано с тем, что любые системы (в том числе и живые) обладают пороговыми состояниями, переход через которые по достижении точки бифуркации ведет к кардинальному качественному изменению протекающих в них процессов — к изменению их организации. Переход системы в новое состояние, так же как и характер ее новой организации, неоднозначен, то есть после бифуркации существует множество возможных структур (возможных путей самоорганизации материи), в рамках которых в дальнейшем будет развиваться система. И предсказать заранее, какая из этих структур реализуется, нельзя. Нельзя в принципе, поскольку это зависит от тех неизбежно присутствующих случайных воздействий — флуктуаций внешней среды, которые в момент перехода через пороговое состояние и будут определять выбор. Поэтому необходимо понимать, что человек как биологический вид, обладающий разумом и развивающийся в рамках определенных норм морали, есть явление уникальное, неповторимое. В привычном нам "виде" он больше нигде и никогда не возникнет. Это с одной стороны. С другой стороны, он всего-навсего — одна из бесчисленного множества возможных реализаций самоорганизации материи во Вселенной — естествен-

ного космического объективного процесса и никаких особых привилегий нарушать или развиваться вопреки объективным законам и процессам не имеет. Он просто будет навсегда уничтожен "породившей" его Вселенной, в которой будут реализовываться все новые и новые формы самоорганизации материи, но вид *Homo Sapiens* уже никогда не повторится. Поэтому, мысля космическими категориями, у человека нет другого выхода и выбора, как действовать в согласии с планетарными объективными законами эволюции. Об этом уже в первые годы XX столетия начал говорить В. И. Вернадский. Он отмечал, что воздействие человека на окружающую природу растет столь быстро, что скоро он превратится в решающую геологообразующую силу. И, как следствие, он должен будет принять на себя ответственность за будущее развитие природы. Развитие окружающей среды и общества сделаются неразрывными. Биосфера перейдет однажды в сферу разума — в ноосферу. Произойдет объединение, в результате которого развитие планеты делается направленным — направляемым силой разума. Термин «ноосфера» предложил французский исследователь Леруа в 1924 г., впоследствии он широко использовался Пьером Тейяр де Шарденом — французским палеонтологом, занимающимся вопросами эволюции; В. И. Вернадский стал употреблять этот термин только в последние годы своей жизни. С термином ноосфера до сих пор не все просто, поскольку однозначное его толкование отсутствует. Среди специалистов-естественников широко распространена наиболее простая его трактовка — сфера разума, так принято называть часть биосферы, которая оказывается под влиянием человека и преобразуется им. Переход биосферы в ноосферу означает при таком понимании всего лишь постепенное освоение человеком биосферы. Однако В. И. Вернадский, создавая свое учение о ноосфере, закладывал в него гораздо более глубокий, философский смысл. Он считал, что согласованное с природой развитие общества, ответственность за природу и ее будущее потребуют специальной организации общества, создания специальных структур, которые будут способны обеспечить это совместное согласованное развитие. Исходя из такого взгляда, ноосфера — это такое состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно, когда разум имеет возможность направлять развитие биосферы в интересах эволюции человека. Выполнение принципа совместного развития, обеспечения коэволюции (совместного развития) биосферы и общества потребуют от человечества регламентации своих действий, определенных ограничений.

Уже сегодня человечество подвело планету к той предельной черте, дальше которой начинаются необратимые процессы.

Необходимые условия (по Вернадскому) перехода биосферы в ноосферу:

- 1) заселение человеком всей планеты;
- 2) резкое преобразование средств связи и обмена между разными странами;
- 3) усиление связей, в том числе политических, между всеми государствами Земли;
- 4) преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;
- 5) расширение границ биосферы и выход в космос;
- 6) открытие новых источников энергии;
- 7) равенство людей всех рас и религий;
- 8) увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;
- 9) свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;
- 10) подъем благосостояния трудящихся, создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и ослабить влияние болезней;
- 11) разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;
- 12) исключение войн из жизни общества.

Практическая работа

Тема «Круговорот веществ в природе»

Цель работы: Изучить особенности биогеохимических циклов основных биогенных элементов и составить их схемы.

Задание 1.

Заполните прямоугольники в упрощенной схеме (рис.2.16) круговорота углерода в биосфере следующими компонентами:

- Углекислый газ атмосферы.
- Зеленые растения.
- Травоядные животные.
- Хищники.
- Сжигание топлива человеком.

- Вулканическая деятельность.
- Мертвые растительные и животные организмы.
- Ископаемое топливо.

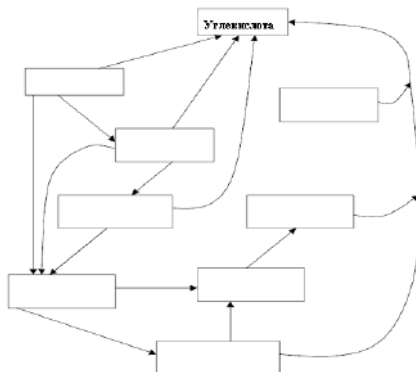


Рис. 2.16. Круговорот углерода

Задание 2.

Дополните схему (рис.2.17) биогеохимического цикла азота в природе.

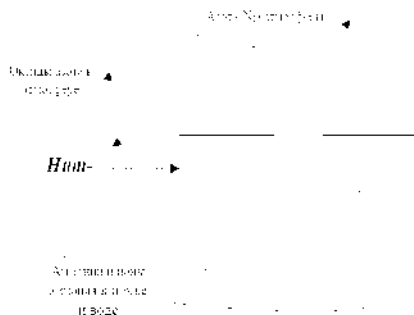


Рис. 2.17. Круговорот азота

Задание 3.

Составьте схему круговорота воды в природе, используя следующие компоненты: осадки, испарение, транспирация, водяной пар, конденсация, облака, растительность, водоем, суша, сток.

Контрольные вопросы

1. В чем особенности биогеохимических циклов основных биогенных элементов?
2. Докажите правомерность следующих утверждений:
 - а) количество вещества, вовлекаемого в биосферные процессы остается постоянным на протяжении длительных отрезков времени;
 - б) совершается многократный круговорот веществ, входящих в состав живых организмов.

2.6. Человек и устойчивость биосферы

2.6.1. Последствия антропогенного воздействия на биосферу

Воздействие человека на окружающую его природную среду может рассматриваться в разных аспектах в зависимости от цели изучения этого вопроса. С точки зрения экологии представляет интерес рассмотрение воздействия человека на экологические системы под углом зрения соответствия или противоречия действий человека объективным законам функционирования природных экосистем. Исходя из взгляда на биосферу как глобальную экосистему, все многообразие видов деятельности человека в биосфере приводит к изменениям: состава биосферы, круговоротов и баланса слагающих ее веществ; энергетического баланса биосферы; биоты. Направленность и степень этих изменений таковы, что самим человеком им дано название экологического кризиса. Современный экологический кризис характеризуется следующими проявлениями:

- постепенное изменение климата планеты вследствие изменения баланса газов в атмосфере;
- общее и местное (над полюсами, отдельными участками суши) разрушение биосферного озонового экрана;
- загрязнение Мирового океана тяжелыми металлами, сложными органическими соединениями, нефтепродуктами, радиоактивными веществами, насыщение вод углекислым газом;
- разрыв естественных экологических связей между океаном и водами суши в результате строительства плотин на реках, приводящий к изменению твердого стока, нерестовых путей и т.п.;
- загрязнение атмосферы с образованием кислотных осадков, высокотоксичных веществ в результате химических и фотохимических реакций;

- загрязнение вод суши, в том числе речных, служащих для питьевого водоснабжения, высокотоксичными веществами, включая диоксины, тяжелые металлы, фенолы;
- опустынивание планеты;
- деградация почвенного слоя, уменьшение площади плодородных земель, пригодных для сельского хозяйства;
- радиоактивное загрязнение отдельных территорий в связи с захоронением радиоактивных отходов, техногенными авариями и т. п.;
- накопление на поверхности суши бытового мусора и промышленных отходов, в особенности практически не разлагающихся пластмасс;
- сокращение площадей тропических и северных лесов, ведущее к дисбалансу газов атмосферы, в том числе сокращению концентрации кислорода в атмосфере планеты;
- загрязнение подземного пространства, включая подземные воды, что делает их непригодными для водоснабжения и угрожает пока еще мало изученной жизни в литосфере;
- массовое и быстрое, лавинообразное исчезновение видов живого вещества;
- ухудшение среды жизни в населенных местах, прежде всего урбанизированных территориях;
- общее истощение и нехватка природных ресурсов для развития человечества;
- изменение размера, энергетической и биогеохимической роли организмов, переформирование пищевых цепей, массовое размножение отдельных видов организмов;
- нарушение иерархии экосистем, увеличение системного однообразия на планете.

Чтобы оценить и понять значимость и последствия привнесённых человеком в биосферу изменений, рассмотрим их в свете объективных законов функционирования природных экосистем.

2.6.2. Нарушение законов функционирования природных экосистем деятельностью человека

Как было рассмотрено выше, структурно биосфера представляет собой совокупность функционально связанных и иерархически соподчинённых отдельных — экосистем. Такой взгляд на биосферу вытекает из принципа системной целостности — основного принципа современного научного знания. Именно потому, что отдельные составляющие — экосистемы — функциональны, а не хаотично струк-

турны, возникает системная целостность. В связи с этим одно из наиболее катастрофичных последствий деятельности человека связано с разрушением структуры экосистем и, следовательно, с разрушением структуры биосферы в целом как системной целостности. Очевидно, что система с нарушенной структурой уже не может выполнять своих прежних функций, поэтому, как правило, разрушение внутренней структуры экосистемы ведет к ее исчезновению с поверхности Земли. Установлено, что если разрушение затрагивает три и более уровней иерархии экосистем, то начинается сначала замедленный, а потом все более ускоряющийся процесс опустынивания — искажаются процессы образования почв, меняется химия среды, исчезают многие виды организмов. И физиономически — по внешнему виду, и функционально — по производимой в биосфере работе на месте одной экосистемы возникает нечто новое: вместо лесного ландшафта — сначала лесолуговой и лесополевой, а затем вместо густых в прошлом лесов — абсолютно безлесые пространства. Уже сейчас южная часть лесной полосы превратилась в антропогенную степь. Процесс разрушения идет лавинообразно, и остановить его непросто. Разрушение экосистем сопровождается исчезновением видов. Число разновидностей биологических организмов на нашей планете огромно. К настоящему времени их описано около 1,5 млн, хотя общее число, по имеющимся оценкам, составляет не менее 5 млн. Специалисты утверждают, что в связи с деградацией природной среды ежегодно исчезают 10–15 тыс. разновидностей преимущественно простейших организмов. Это означает, что за грядущие пятьдесят лет планета потеряет, по разным оценкам, от четверти до половины своего биологического разнообразия, сформировавшегося сотни миллионов лет. Многие разновидности исчезнут до того, как мы узнаем об их существовании. Биосфера является уникальным банком генетических ресурсов, на которых основана вся селекционная работа по созданию новых сортов растений и пород животных, продовольственная база, работа по изысканию новых микроорганизмов и другого генетического материала для биохимических процессов и биотехнологий сегодняшнего дня и будущего, значительная часть ассортимента лекарственных препаратов. Следует отметить, что если в селекционной работе основное внимание уделяется высшим формам растений и животных, то с развитием генно-инженерных методов и биотехнологий резко возрос интерес к простейшим формам. С точки зрения биоразнообразия особую роль играют территории тропического пояса. По имею-

щимся оценкам, в тропических лесах, в прибрежных водах тропических стран и в зонах коралловых рифов обитает до двух третей всех биологических видов планеты. Утрата биологического разнообразия происходит, главным образом, из-за разрушения среды обитания, чрезмерной эксплуатации сельскохозяйственных ресурсов, загрязнения окружающей среды, привнесения в сложившиеся экосистемы инородных растений и животных без учета законов их функционирования. Проблема исчезновения видов состоит не просто в том, что их невозможно восстановить, но и в том, что их место займут другие. Весь вопрос — какие? Этим процессом управляют свои законы. Каждый организм и экосистема по-своему проводит и использует ту энергию, которая приходит к Земле от Солнца. С энергетической точки зрения далеко не все равно, где живет слон, лев, коза или кролик, тем более мышь или саранча: чем мельче организм или совокупность организмов в экосистеме, тем в среднем интенсивнее протекает обмен веществ — метаболизм и использование энергии. Неслучайно существуют организмы разного размера, неодинаковой суточной активности и т. п. Сейчас преимущественно исчезают виды с крупными особями, их заменяют виды с мелкими индивидами. Полностью безлесая Земля, населенная живой мелкотой, будет совсем иной, чем сейчас. Изменятся круговороты всех веществ, газовый состав атмосферы, качество и количество воды в реках, возникнут другие условия жизни. Они могут оказаться совершенно непригодными для существования человека. Он исчезнет как биологический вид. Таким образом, существуют определенные закономерности замены экосистем в биосфере и видов в экосистеме. Их можно сформулировать следующим образом:

- 1) «свято место пусто не бывает»;
- 2) крупные организмы исчезают раньше, и их сменяют мелкие;
- 3) более эволюционно высокоорганизованные виды вытесняются низкоорганизованными, быстрее размножающимися существами;
- 4) всегда побеждают те, кто быстрее и легче изменяется, в том числе генетически.

Разрушение структуры экосистемы вследствие деятельности человека сопровождается стиранием функциональных границ между экосистемами. Это ведет к нарушению закона системного сепаратизма. Мир разделен на системные разности, и они стремятся к самостоятельности — сепаратизму. Закон системного сепаратизма утверждает, что разнокачественные составляющие всегда структурно от-

носителю независимы. Сепаратизм очень ограничен — все системы тесно взаимосвязаны, имеют общую судьбу в пределах надсистемы, но все же относительно самостоятельны! Хорошей иллюстрацией этому закону служит организм человека. Так, например, в теле человека есть сердце, печень, легкие, но нет сердца-печени, сердца-легкого и т.п. Так же, как во Вселенной существуют мириады самостоятельных космических тел. Все стремится к разделению, хотя и действует в рамках общего системного целого — в рамках Вселенной. Отдельные части системы не могут быть беспредельно большими или маленькими — этому мешают необходимость выполнять определенные функции, а также информационные и энергетические ограничения.

Если материальными потоками движет энергия, то взаимоотношения между организмами и неживой средой основывается на информации — энергетически и физико-химически слабых взаимодействиях, воспринимаемых как сигнал о возможности многократно более мощных процессов изнутри или извне и вызывающих ответные реакции. Информация и ответы на нее очень разнообразны. Это и ограничения, накладываемые надсистемами, например Солнцем, на земные явления, и физико-химические процессы типа генетических, и сообщения, получаемые через органы чувств; это и врожденные реакции протоплазмы, клеток, тканей, органов, их систем, особи в целом, и более или менее осмысленные действия, основанные на приобретенном опыте. Информация, как и энергия, — это невещественный экологический компонент. Она наиболее совершенна у животных — управляющего звена экосистемы. Животные имеют развитые органы чувств и максимальную в мире живого возможность реакции, в том числе через подвижность и даже разумную деятельность.

Весь мир построен на законе оптимальности, утверждающем, что никакая система не может бесконечно сужаться или расширяться, она с наибольшей эффективностью функционирует в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах, называемых характерным размером системы. Так, млекопитающее не может быть меньше того размера, который необходим для рождения живых детенышей или несения развитого яйца, как у яйценесущих утконоса и ехидны. Кроме того, необходимо вскармливать детенышей молоком и к тому же поддерживать свой обмен веществ, который тем интенсивнее, чем меньше размеры индивида. Млекопитающее также не может быть слишком крупным — требуется очень много корма, а его

необходимо добыть. На его сбор затрачивается энергия. Ее затраты при чрезмерно большом размере животного оказываются больше поступления от съеденной пищи. Диапазон характерных размеров систем велик: слон, например, больше крошечной землеройки в 2 000 000 раз, крупнейшие звезды больше звезд карликов в тысячи раз. Однако нет млекопитающего или птицы размером со звезду, как нет и космического тела размером с живой организм. Помимо того, что каждая система имеет оптимальные для функционирования размеры, она еще имеет вектор своего развития: развитие, эволюция всегда односторонне направлены. Нельзя прожить жизнь наоборот — от смерти к рождению, невозможно вспять повернуть эволюцию планеты. Это определено действием системогенетического закона, утверждающего, что индивидуальное развитие сокращенно повторяет ход эволюционного изменения своей системной структуры. Ему следуют индивиды, сокращенно и видоизмененно повторяющие в собственном развитии ряд эволюций своих предков. Так, человек, начиная свое развитие с одноклеточной формы, проходит затем фазу рыбообразного организма, "выходит на сушу" в период рождения и далее развивается в атмосфере планеты. По этому же закону развиваются экосистемы на освобожденных от воды берегах озер, рек и морей, на любых безжизненных пространствах: сначала одноклеточные, затем отдельные растения и животные, потом луговая и лесная растительность. Даже горные породы следуют системогенетическому закону — минералогические процессы в короткие интервалы времени как бы повторяют общую историю геологического развития. При этом фазы развития очень строго определены. Это утверждает закон последовательного прохождения фаз развития: фазы развития природной системы могут следовать лишь в эволюционно закреплённом порядке от относительно простого к сложному. Этот закон часто игнорируют, пытаясь, например, вырастить хвойные культуры там, где согласно природной последовательности смены пород им должны предшествовать в сукцессионном развитии другие виды древовидных растений. Иногда такие культуры удается вырастить, но они либо заболевают, либо оказываются столь не жизнестойкими, что погибают от малейших отклонений в условиях среды обитания. Еще одним важным законом природы является закон развития природной системы за счет окружающей ее среды: любая природная система может развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды. Изолированное самораз-

витие невозможно. Если какая-либо экосистема, например участок леса, находится в чуждой для себя среде, например среди луга, то она постепенно деградирует. Лес сначала теряет лесные виды животных и трав, затем становится реже, приобретает парковый характер и, наконец, сменяется лугом. Закон растворения системы в чуждой среде сформулирован советским геофизиком Г.Ф. Хильми в 60-х годах XX столетия. Это очень важное обобщение было известно и раньше, и все-таки вопреки ему предполагалось, что выделяемые относительно небольшие заповедные участки можно сохранить как эталон природы. Оказалось же, что чем меньше площадь сохраняемой экосистемы в преобразованной природе, тем быстрее она разрушается. Знание этого закона совершенно по-новому ставит проблему охраны окружающей человека природной среды. Если раньше было достаточно сохранения лишь особо "важных" территорий, то теперь необходимо ставить вопрос о том, чтобы преобразуемые пространства занимали лишь сравнительно небольшие площади. Малые по размерам охраняемые территории не могут обеспечить сохранения ни видов, ни экосистем. Чем больше экологическая разница между сохраняемым островом природы и окружающей его средой, тем проблематичнее его сохранение. Поэтому не сохранять острова "нетронутой природы", а преобразовывать природу лишь на небольших участках — такова должна быть новая стратегия в отношениях человека с окружающей средой. Такой подход важен с точки зрения не только сохранения природной среды, но и выживания самого человека как вида, ибо и для него как биологического существа нужна та среда жизни, которая была в момент его возникновения и эволюции, то есть в период формирования генетического приспособления к окружающему миру.

С точки зрения сформулированной стратегии в сохранении природной среды и биосферы в целом особая роль принадлежит России. По оценкам ученых, на сегодняшний день на планете осталось немного территорий, не нарушенных хозяйственной деятельностью (стран, имеющих ненарушенные участки площадью не менее одного миллиона квадратных километров, на планете всего 6), и больше всего в России: 7–8 млн квадратных километров. Эксперты считают, что по своей эффективности в стабилизации биосферы нетронутая природная территория России сравнима лишь с Амазонией в Бразилии.

Из закона развития природной системы за счет окружающей среды вытекают важные в теоретическом и практическом отношении следствия.

1. Абсолютно безотходное производство невозможно. Согласно этому следствию, можно рассчитывать лишь на малоотходные производства. Поэтому первым принципом разработки технологий должна быть их малая ресурсоемкость, обеспечивающая как на входе, так и на выходе экономичность и незначительные выбросы; вторым принципом должно быть создание цикличного производства, когда отходы одного производства являются сырьем для другого; третьим принципом — организация разумного захоронения неминуемых остатков и нейтрализация неустранимых энергетических отходов. Представление, что биосфера работает по принципу безотходности, ошибочно, так как в ней всегда накапливаются выбывающие из биологического круговорота вещества, формирующие осадочные породы.

2. Любая более высокоорганизованная биосистема, например вид живого, используя и видоизменяя среду жизни, представляет потенциальную угрозу для более низкоорганизованных систем. Согласно этому следствию, воздействие человека на природу требует мероприятий по нейтрализации этих воздействий, поскольку они могут оказаться разрушающими для природы и угрожающими самому человеку. В связи с этим охрана природы и среды жизни должна быть одной из обязательных составляющих социально-экономической политики цивилизованного общества.

3. Биосфера Земли как система развивается не только за счет ресурсов планеты, но и опосредованно за счет и под управляющим воздействием космических систем, прежде всего Солнечной. Это следствие имеет важное значение для долгосрочного прогнозирования, оно должно учитываться при рассмотрении всех процессов, происходящих на Земле. Однако необходимо осознавать, что космические воздействия преломляются земными процессами и выявление здесь прямых связей носит вероятностный характер. Например, в годы солнечной активности необязательно будет проявляться весь аспект явлений, наблюдавшихся в предыдущий цикл активности светила. Они лишь могут возникать и статистически вероятны, но конкретное их проявление зависит от сочетания огромного числа космических и земных факторов.

Известно, что любая система оказывает сопротивление воздействию извне и чем больше интенсивность воздействия, тем сильнее

сопротивление. В 80-х годах XIX столетия для физических систем был сформулирован принцип Ле Шателье — Брауна, утверждающий, что при внешнем воздействии на систему, находящуюся в фазе устойчивого равновесия, выводящем систему из такого состояния, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Этот принцип действует и в системах живого — экосистемах. Однако лишь до тех пор, пока внешнее воздействие не превышает некоторого порогового значения, после чего происходит саморазрушение системы. Особенно заметно это на экосистемах. Установление нового равновесного состояния системы, при котором внешние факторы оказывают меньшее воздействие на экосистему, приводит к изменению самой экосистемы. Когда уже многие экосистемы заменены, меняются и их сочетания, затем по иерархии систем процесс может дойти до биосферы в целом. В результате смен, идущих по иерархии снизу вверх от отдельных экосистем к биосфере, последняя в значительной мере уже перестала следовать принципу Ле Шателье — Брауна — человечество переступило допустимый порог воздействия. Принцип Ле Шателье — Брауна в биосфере есть инструмент сохранения ее устойчивости и стабильности. Пока еще есть возможность восстановить действие этого принципа, приостановить саморазрушение биосферы. Главным условием для этого является сохранение глобальной биомассы планеты, целостности биоты Земли и экологического равновесия на планете. Выполнение этого условия требует неукоснительного соблюдения человечеством двух условий: правила одного процента, утверждающего, что изменение энергетики природной системы в размере одного и более процентов выводит ее из равновесного состояния, а затем разрушает, и сокращения антропогенного воздействия на биосферу. Если же нарушение принципа Ле Шателье — Брауна будет углубляться, то жизнь на планете обречена на гибель. Та же участь постигнет и человека как биологический вид. Поэтому человечество вынуждено думать, как исправить положение, как управлять природными процессами для того, чтобы восстановить действие принципа Ле Шателье — Брауна и сохранить среду обитания. Когда речь идет об управлении природой, люди становятся на позиции технократического подхода — в нас всех заложено технократическое мышление. Например, для предотвращения наводнений возводятся плотины и дамбы, строятся каналы, берега укрепляются бетонными стенами. Но инженерные сооружения не системны, они не в состоянии сами себя поддер-

живать. Технократический подход чем дальше, тем больше входит в противоречие с системным устройством природы. Люди привыкли "исправлять" природу техническими средствами. До определенной степени это разумно и оправданно, но следует помнить, что природа, откуда вышел человек и частью которой он остается, сильнее, у нее свои законы развития. Поэтому от технических средств управления средой жизни — жесткого управления — все в большей степени необходимо переходить к мягким — системным — формам управления. Чтобы было понятно, в чем суть и разница между этими формами управления, рассмотрим один пример. В середине XX века в США и СССР построили большое количество плотин, дамб, ирригационных сооружений. По прошествии всего нескольких лет и в той, и в другой стране начали свирепствовать стихийные явления, пыльные бури, началось обширное опустынивание, наводнения заливали огромные площади. Со временем стало понятно, что инженерные сооружения нарушили сложившееся экологическое равновесие, исправить положение могли только экологические решения. Чтобы остановить стихию, были посажены лесные полосы в песках, в верховьях и вдоль берегов рек. В совокупности с другими экологическими мерами было отрегулировано соотношение экологических компонентов экосистем ведь стихийные бедствия возникли из-за дисбаланса приходящей энергии, воды, живых составляющих экосистемы и т.п. Мягкое исправление соотношения экологических компонентов в рассмотренном выше примере дало положительный результат. Одна из бед человечества заключается в пренебрежении законами природы. Для начала их надо хотя бы знать. Поэтому были рассмотрены последствия воздействия антропогенных факторов на биосферу и те наиболее общие законы природы, нарушение которых человеком приводит к ее деградации и саморазрушению, а при дальнейшей деятельности вопреки этим законам и к гибели.

Адаптация организма человека к изменяющимся условиям окружающей среды

Понятие адаптации

Человек, для того чтобы выжить во все более быстро изменяющихся условиях окружающей его среды, должен уметь приспосабливаться к этим изменениям. Природа наделила его такими возможностями. Все представители вида *Homo sapiens* способны проявлять необходимую пластичность реакций в ответ на изменение внешней сре-

ды — приспособляемость. Приспособляемость выработалась в ходе эволюции. Процессы и явления активного приспособления человека к окружающей среде, жизнедеятельности, а также обусловленные ими изменения в организме называют адаптацией. Физиологическая адаптация — это устойчивый уровень активности и взаимосвязи функциональных систем, органов и тканей, а также механизмов управления. Он обеспечивает нормальную жизнедеятельность организма и трудовую активность человека в новых условиях существования, способность к воспроизведению здорового потомства. Для всякого организма существует оптимальная эндогенная и экзогенная, то есть внутренняя и внешняя, экологическая среда, причем среда обитания не только с оптимальными характеристиками физических условий, но и с конкретными социальными условиями.

Цель и значение адаптации состоит в сохранении биологического гомеостаза. Гомеостаз включает в себя два взаимосвязанных процесса — достижение устойчивого равновесия и саморегуляцию. В физиологическом смысле его следует рассматривать как сохранение того постоянства внутриклеточных условий, которое необходимо для жизни организма. Начиная с момента рождения, организм внезапно попадает в совершенно новые для него условия и вынужден приспособиться к ним деятельностью всех своих органов и систем. В ходе индивидуального развития факторы, действующие на организм, непрерывно видоизменяются, что требует постоянных функциональных перестроек. Процесс приспособления организма к общеприродным — климато-географическим, а также к производственным и социальным условиям представляет собой универсальное явление. Под адаптацией понимают все виды врожденной и приобретенной приспособительной деятельности, которые обеспечиваются определенными физиологическими реакциями, происходящими на клеточном, органном, системном и организменном уровнях.

Формы адаптации

В ходе эволюционного процесса у человека возникла генетически детерминированная биологическая адаптированность. Она наследственно закреплена в стереотипе морфофизиологических реакций (генотипическая адаптация). Комплекс видовых наследственных признаков — генотип — становится исходным пунктом следующего этапа адаптации, приобретаемого в процессе жизни каждого человека, — индивидуальной или фенотипической адаптации. Она форми-

руется в процессе взаимодействия конкретного организма с окружающей его средой обитания и обеспечивается специфическими для этой среды структурными морфофункциональными изменениями. Генетическая программа организма предусматривает не заранее сформировавшуюся адаптацию, а возможность эффективной целенаправленной реализации жизненно необходимых адаптационных реакций под влиянием среды обитания. Это обеспечивает экономное, направляемое средой расходование энергетических и структурных ресурсов организма, а также способствует формированию фенотипа. Каждое новое поколение адаптируется заново к широкому спектру иногда совершенно новых факторов, требующих выработки новых специализированных реакций. К такому виду адаптаций обычно относят акклиматизацию — негенетическую биосоциальную адаптацию к сложному комплексу условий внешней среды, центральное место в котором занимает климатический фактор. Адаптация такого типа, как правило, сопровождается только кратковременными сдвигами физиологических показателей. Во взаимосвязях с окружающей средой человек выступает одновременно и как биологический индивид, и как социальная личность. Как социальная личность человек обладает внебиологической формой приспособления к внешней среде. Она заключается в том, что человек не столько приспосабливается к среде обитания, сколько приспособливает ее к себе, изменяя и создавая новые свойства среды в соответствии со своими потребностями. Функцию такого рода приспособительного отношения человека к окружающей среде выполняет материальное производство, конечной целью которого выступает обеспечение и поддержание жизни человеческого общества. Внебиологическая адаптация человека проявляется как в материальной, так и в духовной сферах. Формы проявления ее многообразны и включают различные направления человеческой деятельности. Особенно активна и многообразна производственно-адаптирующая деятельность. Она может быть направлена как на изоляцию человека от природной среды, неблагоприятной для него по каким-либо параметрам, так и на ее преобразование, создание новых свойств среды. Изоляция от природной среды осуществляется различными путями: с помощью одежды, питания, инженерных сооружений. Важной формой социальной адаптации выступают системы организации здравоохранения, правового законодательства, социального обеспечения. Хотя производственная деятельность в основном имеет адаптивный характер, это ее свойство проявляется не всегда

однозначно. При любом из направлений деятельности человека по приспособлению среды может иметь место как ее улучшение (например, оздоровление болотистых территорий), так и ее ухудшение (например, загрязнение среды в местах интенсивного промышленного развития), что находит выражение в изменениях состояния здоровья человека. К особенностям адаптации человека относится сочетание развития физиологических адаптивных свойств организма с искусственными способами, преобразующими среду в его интересах. Однако искусственные мероприятия не всегда абсолютно позитивны. Так, например, в наш век санитарно-гигиенические мероприятия становятся столь эффективными, что встреча организма с патогенным микроорганизмом перестает быть повседневным явлением и он не вырабатывает иммунитет, как в прежние времена. Другим примером подобного рода может служить искусственная иммунизация. Получение вакцин и сывороток человеком извне приводит к детенированности его собственных иммунологических механизмов. Создание температурного комфорта в помещении, одежда, защищающая от холода и перегревания, снижают возможности естественной терморегуляции. Эти примеры позволяют говорить о том, что достижения науки и техники, помогая человеку преодолевать сложные, требующие приспособления ситуации, в то же время ослабляют защитные силы и адаптационные механизмы человека. Их необходимо по возможности тренировать.

Адаптогенные факторы

Канадский ученый Ганс Селье назвал факторы, воздействие которых на организм приводит к адаптации, стресс-факторами. Другое их название — экстремальные или адаптогенные факторы. Экстремальными могут быть не только отдельные воздействия на организм, но и измененные условия существования в целом (например, перемещение человека на постоянное местожительство с Крайнего Севера на юг). По отношению к человеку адаптогенные факторы могут быть природными и социальными, связанными с трудовой деятельностью.

Природные факторы. Действие природных факторов, вызывающих развитие адаптационных механизмов, всегда является комплексным, так что можно говорить о действии группы факторов того или иного характера. Так, например, все живые организмы в ходе эволюции прежде всего приспособились к земным условиям существования: определенному барометрическому давлению и гравитации,

уровню космических и тепловых излучений, определенному газовому составу окружающей среды и т. д. Животные приобрели способность заранее реагировать на смену времен года, например, при приближении зимы, но еще до наступления холодов у многих млекопитающих образуется значительная прослойка подкожного жира, шерсть становится густой, меняется ее окраска и т. д. Этот механизм предварительных изменений, позволяющий животным встретить надвигающиеся холода подготовленными, является замечательным достижением эволюции. В результате фиксированности в организме изменений окружающего мира и сигнального значения факторов внешней среды и развиваются опережающие реакции приспособления. Помимо смен сезонов в течение года животный и растительный мир адаптировался к смене дня и ночи. Эти природные изменения определенным образом зафиксированы во всех системах организма. Природные факторы действуют как на организмы животных и растений, так и на организм человека. В том и другом случаях эти факторы приводят к развитию адаптивных механизмов человеческой природы.

Социальные факторы. Социальные условия жизни человека породили специфические факторы, к которым необходимо адаптироваться. Их число растет с развитием цивилизации. Так, с расширением среды обитания появляются совершенно новые для человеческого организма условия и воздействия, например, космические полеты приносят новые комплексы воздействий: невесомость сочетается с гиподинамией, изменением суточного режима жизни и т. д. Люди, проникающие в недра земли или совершающие глубоководные погружения, подвергаются воздействию непривычно высокого давления, влажности, дышат воздухом с повышенным (пониженным) содержанием кислорода. Работа в горячих цехах или холодном климате создает факторы, требующие расширенного диапазона адаптации к крайним температурам. Выполняя свои служебные обязанности, человек вынужден приспосабливаться к шуму, вибрации, изменению освещенности и т.п. Загрязнение окружающей природы, включение в пищу большого числа синтетических продуктов, алкогольных напитков, злоупотребление медикаментами, курение — все это дополнительная нагрузка для гомеостазируемых систем организма современного человека. Переход к механизированным и автоматизированным формам труда сопровождается нарастанием нервно-психического напряжения и гиподинамией.

2.6.3. Антропогенное энергопотребление как критерий устойчивости биосферы

К концу второго тысячелетия человечество приобрело принципиально новые знания об окружающем его мире, следствием которых стал крах культивируемой в течение многих веков и тысячелетий **антропоцентрической** системы жизни. Это новое знание можно сформулировать следующим образом: ни один биологический вид, включая человека, не имеет долговременной возможности выхода из отведенной ему эволюцией биосферы экологической ниши, определяющей долю потребления этим видом продукции биоты и других материальных и энергетических ресурсов Земли. Фактически к концу XX столетия человек как биологический вид далеко превысил отведенные ему пределы, что привело к выходу из устойчивого равновесия и процессам разрушения биосферы Земли.

Нагрузка на биосферу складывается из двух связанных между собой видов антропогенного воздействия: **биопотребления** — потребления части биоты в виде пищи (человеком и домашними животными) и древесины; **энергопотребления** — потребления энергии, в основном ископаемого топлива, в результате всех видов хозяйственной деятельности — промышленного и сельскохозяйственного производства, транспортных перевозок и т.п. Исследование **не затронутой деятельностью человека** природы показывает, что распределение в потреблении и переработке биоты имеет пропорции, показанные на рис. 2.18.

Из него видно, что в естественных сообществах млекопитающие потребляют не более 1% продукции биоты (в энергетическом эквиваленте это составляет $1012 \text{ Вт} = 1 \text{ ТВт}$ энергии в год). Оставшиеся 99% (~99 ТВт) потребляются остальными видами сообщества, которые и содержат окружающую среду в равновесном состоянии. На сегодняшний день человек примерно в 7 раз превысил "разрешенную" ему долю в глобальном экологическом балансе. Динамика антропогенного потребления приведена на рисунке 2.19.

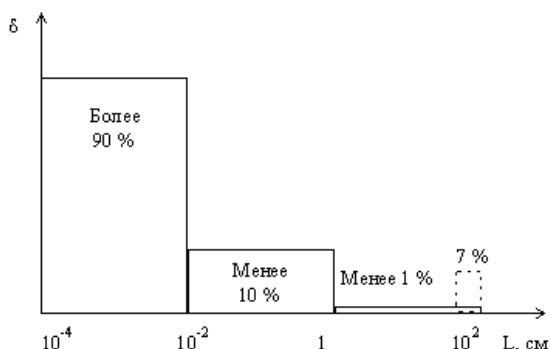


Рис. 2.18. Видовое разнообразие биоты в сохранении устойчивости биосферы

Пояснения: значение видового разнообразия биоты (пунктиром показано повышение человеком своей доли в глобальном экологическом балансе); δ — относительная доля в общем балансе переработки органических веществ; L — характерный размер организмов.



Рис. 2.19. Динамика антропогенного энергопотребления:

1 — энергопотребление (в основном за счет ископаемого топлива); 2 — биопотребление (потребление энергии с пищей и за счет использования древесины)

Человек с ростом производства и потребления энергии, главным образом за счет невозобновляемых ископаемых органических ресурсов и древесины, уже в начале XX в. вывел биосферу из области устойчивости в зону разрушения. Дальнейшее наращивание производства энергии даже втрое приведет к пересечению климатического предела и полному разбалансированию биосферы с катастрофическими последствиями. В настоящее время для оценки антропогенного воздействия на биосферу отдельно взятой страны предложен индекс антропогенной нагрузки на биосферу I . Его можно представить как отношение плотности мощности нагрузки (то есть часть нагрузки, приходящейся на единицу площади страны — квадратный километр) для определенного государства к плотности мощности нагрузки для всей суши планеты (без Антарктиды). Плотность мощности антропогенной нагрузки складывается из плотностей мощности биопотребления P_6 и энергопотребления P_3 . Таким образом,

$$I = \frac{\frac{P_6}{S} + \frac{P_3}{S}}{\frac{P_6^0}{S^0} + \frac{P_3^0}{S^0}} = \frac{\frac{P_6 + P_3}{S}}{\frac{P_6^0 + P_3^0}{S^0}},$$

где P_6 и P_3 — мощности биопотребления и энергопотребления для страны; S — ее площадь; P_6^0, P_3^0, S^0 — то же для суши планеты.

Индексы антропогенной нагрузки на биосферу для крупных стран образуют следующую последовательность: Япония — 15,8; ФРГ (бывшая) — 14,5; Великобритания — 12,7; Италия — 8,1; Франция — 5,3; Индия — 4,0; США — 2,8; Китай — 1,9; мир в целом — 1,0; СССР (бывший) — 0,8; Бразилия — 0,3. Из этих данных следует, что в разрушение биосферы наибольшую долю вносят высокоразвитые страны с рыночной экономикой, а также густонаселенные государства (низкие показатели для СССР и США обусловлены их большой площадью). Интересно отметить, что для большинства высокоразвитых стран отношение $P_3/P_6 > 1$, для США оно максимально и достигает 10; для таких же стран, как Китай, Индия, Бразилия, оно составляет ~0,8, то есть биопотребление превышает в них энергопотребление. Основных причин, способствующих стремительному росту энергопотребления, две: во-первых, продолжающийся с огромной скоростью рост населения планеты; во-вторых, быстрое развитие мирового промышленного и сельскохозяйственного производства с ростом общего уровня потребления.

2.6.4. Народонаселение и устойчивость биосферы

Говоря о численности населения планеты, необходимо иметь в виду две цифры. Во-первых, согласно ресурсной модели мировой системы 70-х годов XX столетия (работы Римского клуба) в качестве предельного значения рассматривается численность населения Земли на уровне 8 млрд человек. Во-вторых, согласно более поздней теории устойчивости биосферы В.Г. Горшкова как живой саморегулируемой системы, биосфера устойчива и стабилизирует климат Земли при условии, что население не превышает ~1 млрд человек. Разница в цифрах объясняется тем, что авторы первой модели исходили из допущения, что Земля является для человека лишь источником материальных и продовольственных ресурсов и что биосфера остается жизнеспособной и сохраняет свойства среды обитания человечества. Основные данные о фактической и прогнозной численности населения Земли и периодах удвоения численности (величина, обратная скорости роста) представлены на рис. 2.20.



Рис. 2.20. Динамика численности населения планеты

Прежде всего отметим продолжающееся нарастание скорости роста численности населения (за последние 20 лет она возросла на 1,7 млрд человек, что соответствует населению планеты в начале XX века; 1,5 млрд из этого числа приходится на развивающиеся страны)

и соответственно уменьшение периода удвоения численности T_2 , который на сегодня составляет 34 года. Во-вторых, как видно из рис. 2.20, численность населения Земли далеко превысила отведенный для человека предел в 1 млрд. Если темпы роста возрастания численности населения сохранятся, то уже к 2030 году оно может составить 11 млрд жителей. Такого количества землян планета не выдержит по многим параметрам, в том числе и потому, что для производства только пищи необходимо будет в пять раз поднять производство и потребление энергии, а установлено, что увеличение даже в три раза приведет к превышению климатического предела и полному разбалансированию биосферы. Одновременно это потребовало бы удвоения каждые 10 лет потребления пресной воды и органических удобрений. Но даже если бы вдруг рост населения сегодня прекратился, ныне проживающее число людей на планете продолжительное время существовать не может, поскольку и оно резко разбалансировало биосферу. Между тем рост населения не прекращается, а попытки мирового сообщества гуманными способами регулировать численность землян терпят неудачу. Об этом свидетельствуют результаты Конференции ООН в Каире по народонаселению (сентябрь 1994 г.). Все доводы мирового сообщества о необходимости регулирования численности людей натолкнулись на сопротивление Ватикана и лидеров мусульманского мира, и результаты встречи оказались бесплодными. В итоге конференция зафиксировала безрадостный прогноз, что в 2015 году численность землян будет находиться в пределах 7,2–7,9 млрд человек. Несомненно, что численность землян рано или поздно вернется к значению, обеспечивающему устойчивое функционирование биосферы. Это будет сделано либо самими людьми по управляемому "мягкому" варианту, когда до 1 млрд численность снизится примерно за столетие (для этого необходимо нынешний рост превратить в такое же по темпам — 1,8% в год — сокращение, что примерно соответствует рождению не более одного — двух детей в семье), либо снижение будет обеспечено самой природой по быстрому катастрофическому варианту со скоростью 3% в год.

Такие прецеденты для других видов на Земле наблюдались неоднократно. Процессы обвального сокращения, скорее всего, будут идти с большими неравномерностями, сопровождаясь колебаниями плотности и сильными миграционными движениями.

2.6.5. Рост уровня производства и неравномерность потребления как фактор нарушения устойчивости

Характерная черта современной человеческой цивилизации — неуклонный рост объемов производства и потребления. За двадцатое столетие потребление ископаемого топлива возросло почти в тридцать раз, а промышленное производство — более чем в пятьдесят раз. Основная доля этого роста — $3/4$ ископаемого топлива и более $4/5$ промышленного производства — приходится на последние пятьдесят лет. За последние сто лет в сельскохозяйственное производство вовлечено больше земли, чем за весь предыдущий период использования ее человечеством. Одновременно с этим только за последние сорок лет применение химических удобрений возросло более чем в десять раз, пестицидов и других ядохимикатов — более чем в тридцать раз. Сегодня из земных недр ежегодно извлекается около 150 млрд т горных пород, в том числе более 20 млрд т полезных ископаемых. Другой характерной чертой современной цивилизации является устрашающее неравенство в масштабах производства и потребления разных стран мира. В настоящее время на долю 20% наиболее богатой части населения мира приходится ~83% мирового дохода, а на долю 20% беднейшей части — только 1,4%, причем это соотношение неравенства возросло с 1960 по 1989 годы с 30:1 до 59:1, то есть удвоилось. Показателем все возрастающего неравенства являются также данные ООН по потреблению на душу населения в развитых и развивающихся странах. Так, в начале девяностых годов XX века потребление нефти на одного жителя Земли составило около 550 кг, при этом в США и Канаде — 2500 кг, Индии — 60 кг, странах Африки — 10 кг. Аналогичная картина наблюдается по другим источникам энергии и природным ресурсам. Помимо колоссальной диспропорции, в мировой экономике господствует сегодня вызывающе расточительное потребление их населением экономически развитых государств. О том, что это неприемлемое для планеты потребление, говорят следующие цифры: если все население Земли поднимет уровень своего потребления до американских стандартов, то, чтобы его обеспечить, необходимо увеличить годовую добычу железа в 75 раз, свинца и меди в 100 раз, олова в 250 раз. В недрах Земли просто нет таких ресурсов. Кажущиеся почти неисчерпаемыми разведанные запасы угля полностью иссякли бы через 18 лет, нефти — через 7 лет. **Проблема** все возрастающей дифференциации, **разрыва в уровне жизни** человеческого сообщества выходит на одно из первых мест и прежде всего

как *экологическая проблема*. Социальная и техническая отсталость развивающихся стран будет все больше угрожать не только им самим, но и развитым странам. Мир един, поэтому нарушение глобальных законов функционирования биосферы в какой-либо ее части неминуемо приведет к нарушению ее устойчивости в целом. В настоящее время важнейшие для нормального функционирования биосферы Земли компоненты — практически 100% тропических лесов, 70% всех биологических видов живых организмов — находятся на территории и в прибрежных водах развивающихся стран, на них же приходится и большая часть беднейшего населения планеты, которое для своего физического выживания нещадно истребляет природные ресурсы. Весь парадокс современной ситуации в том, что бедность и нищета большей части населения планеты приведут к краху всей человеческой цивилизации, касаясь в равной мере и бедных, и богатых. *Поэтому уменьшение разрыва в уровне жизни народов мира, искоренение бедности и нищеты является в равной мере острейшей необходимостью как для бедных, так и для богатых, если человечество хочет сохранить себя на Земле.*

2.6.6. Концепция устойчивого развития и перспективы ее реализации

Попытка выработки новой модели развития человеческой цивилизации была предпринята на состоявшейся в 1992 году в Рио-де-Жанейро Конференции по окружающей среде и развитию на уровне глав государств и правительств. Конференция констатировала невозможность движения развивающихся стран по пути, которым пришли к своему благополучию развитые страны, поскольку характер производства и потребления в промышленно развитой части мира подрывает системы, поддерживающие жизнь на Земле; господствующая экономическая система рассматривает неограниченный рост как прогресс, не учитывая экологические ценности и ущерб. Эта модель цивилизации признана ведущей к катастрофе, и в связи с этим провозглашена необходимость перехода мирового сообщества на новую концепцию — концепцию устойчивого развития, под которой понимается обеспечение баланса между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей среды, удовлетворение основных жизненных потребностей нынешнего поколения с сохранением таких возможностей для будущих поколений. Если человечество не сделает этого, то цивилизацию ожидает крах. Но со-

вершить переход к новому типу взаимоотношений в мире, к новому характеру производства и потребления человечество сможет только в том случае, если все слои общества во всех странах осознают безусловную необходимость такого перехода и будут ему всемерно содействовать.

Но именно эта задача выработки нового общепланетарного сознания является самой сложной. Прежде всего она требует общего экологического образования населения планеты. Но самое главное — она не разрешима без отказа от частной корпоративной собственности, права перешагнуть через которую в капиталистических странах не имеют ни глава государства, ни правительство. Эта проблема имеет значительно более общий характер, поскольку частная собственность во многих отношениях становится камнем преткновения на пути к устойчивому развитию цивилизации.

Примером и подтверждением тому явился отказ Соединенных Штатов Америки подписать принятую Конференцией Конвенцию по биологическому разнообразию, в которой в очень мягкой, обтекаемой форме ставился вопрос о необходимости компенсации за использование в биотехнологиях генетических ресурсов развивающихся стран либо в виде передачи им части прибыли от производства продукции развитыми странами с использованием биотехнологий, либо в виде передачи им на льготных условиях новых биотехнологий. Аналогичная ситуация сложилась с подписанием Конвенции об изменении климата. За безобидным и очевидным на первый взгляд вопросом о необходимости снижения выбросов парниковых газов и прежде всего углекислого газа в атмосферу стоят интересы крупнейших нефтяных компаний мира. Предлагаемый мировым сообществом переход к квотированию выбросов на душу населения и введение системы цен на все виды ресурсов с полным учетом ущерба, наносимого окружающей среде и будущим поколениям, заведомо ставит США в невыгодное положение как страну, потребляющую больше всех энергоресурсов на душу населения. Запись в Конвенцию пункта о введении обязательных требований на сокращение выбросов углекислого газа усилила бы политику энергосбережения в странах-потребителях нефти и ухудшила конъюнктуру на мировом рынке нефти. Поэтому США заблокировались с нефтедобывающими арабскими странами и добились в итоговом документе записи, что по мере возможности странам следует вернуться к 2000 году к уровню выбросов углекислого газа 1990 года.

Такая борьба шла по очень многим пунктам большинства из принятых Конференцией документов. Чаще всего согласия удавалось достигнуть благодаря очень мягким, обтекаемым или расплывчатым формулировкам. Но главное, что показала конференция, что на пороге III тысячелетия человечество осознало нависшую над ним глобальную катастрофу и необходимость смены модели развития цивилизации.

2.6.7. Стратегия поведения человечества в условиях глобального экологического кризиса

На сегодняшний день учеными и исследователями предлагается множество моделей возможного поведения человечества. Одна из них носит условное название "назад к природе". Она базируется на том, что человечество может развиваться только в условиях существования более или менее стабильных биогеохимических циклов, которые не должны сколь-нибудь существенно истощать запасы невозобновимых ресурсов, многие из которых очень ограничены. Но современные потребности человека в энергии могут быть покрыты источниками возобновляемой энергии лишь на 10–12%. Следовательно, для того, чтобы человечество могло вписаться в естественные циклы биосферы, необходимо либо уменьшение в 10 раз количества жителей планеты, либо сокращение потребностей каждого из жителей планеты тоже приблизительно в 10 раз. Это в среднем. А потребности американца должны быть снижены в 50 раз! В обозримом будущем это недостижимо, поэтому возврат человечества к структуре биогеохимических циклов естественной природы невозможен.

Другая крайняя идея — это идея автотрофности человека, то есть возможности создания целиком искусственной цивилизации, не зависящей от состояния биосферы и ее развития. Эта идея высказывалась еще представителями русского космизма; ее активным поборником был Константин Эдуардович Циолковский, к ней с интересом относился Владимир Иванович Вернадский. Но человечество рождено биосферой в процессе ее эволюции. Биосфера без человека существовала и будет существовать, человек вне биосферы существовать не может.

Очевидно, что оба эти крайних решения утопичны. Но существует еще целый ряд промежуточных вариантов, основная идея которых состоит в следующем: природоохранная деятельность, имеющая своей целью сохранение биосферы, и есть основа устойчивого развития общества, достаточная для его обеспечения. Исповедующие ее по

существу утверждают, что если мы научимся не загрязнять окружающую среду промышленными отходами и не разрушать живой мир, то будущность гарантирована. Это глубочайшее заблуждение! Сохранение биосферы — условие абсолютно необходимое, но недостаточное! Преодоление глобального экологического кризиса чисто технологическими и техническими средствами уже невозможно. Малоотходные технологии необходимы, но их недостаточно. И нужно отдавать себе отчет, что достаточных условий человечество пока не знает! Вероятнее всего, что сейчас в условиях нынешних технологий и цивилизационных норм, мы их сформулировать не можем. Сегодняшняя глобальная задача человечества — сохранить себя в биосфере. Если это удастся и человечество вместе с биосферой войдет в новый этап ее эволюции — эпоху ноосферы, тогда достаточные условия, обеспечивающие коэволюцию человека и природы, возникнут и будут познаны. Чтобы такое произошло, человечеству предстоит смена нравственных принципов столь же глубокая, какая произошла на заре становления общества с появлением заповеди "не убий", в результате чего нормы поведения в первобытных общинах сменились человеческой моралью, основанной на принципах нравственности. Такая смена не может произойти естественным путем, автоматически. Это будет мучительный и долгий процесс выработки новых принципов, нового мышления, новой нравственности.

Контрольные вопросы

1. Изменение климата Земли в результате воздействия на биосферу антропогенных факторов.
2. Ослабление озонового экрана в связи с попаданием в верхние слои атмосферы веществ искусственного происхождения, способных реорганизовать фотохимические процессы.
3. Материальное загрязнение атмосферы с образованием кислотных осадков, сильно ядовитых веществ, активных малых газовых примесей, всей гаммы азотистых соединений.
4. Загрязнение океана.
5. Истощение и загрязнение поверхностных вод суши, континентальных водоемов, подземных вод.
6. Радиоактивное загрязнение локальных участков и отдельных регионов.
7. Изменение геохимии регионов планеты в результате перемещения и концентрации тяжелых металлов на поверхности Земли.

8. Накопление на поверхности суши радиоактивных и ядовитых веществ, бытового мусора и промышленных отходов; возникновение вторичных химических реакций во всех средах с образованием токсических веществ.
9. Сдвиг экологического баланса между Мировым океаном, его прибрежными водами и впадающими в него водотоками.
10. Процессы опустынивания планеты во вновь зарегистрированных регионах и уже ранее охваченных опустыниванием.
11. Сокращение площадей лесного покрова в тропической и северной зоне.
12. Образование экологических ниш в результате сокращения многообразия видов, заполнение их нежелательными организмами-вредителями, паразитами, возбудителями новых заболеваний растений, животных и человека.
13. Абсолютное перенаселение Земли и демографическое переуплотнение в отдельных регионах.

3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

3.1. Антропогенное загрязнение биосферы. Глобальные экологические проблемы

Загрязнение — это привнесение в природную среду или возникновение в ней новых, обычно нехарактерных, физических, химических, информационных или биологических агентов, которые выводят ее системы из равновесия, отличается от нормы, обычно наблюдаемой и (или) желательной для человека.

Антропогенное загрязнение — это загрязнение, возникающее и результате хозяйственной деятельности людей, в том числе их прямое или косвенное влияние на состав и интенсивность природного (естественного) загрязнения.

При изучении или описании современных процессов в экосистемах и в биосфере в целом принято выделять следующие виды загрязнения:

- *химическое* (или ингредиентное), заключающееся в изменении химического состава среды (отклонении от нормального уровня концентрации характерных ингредиентов и от появления новых);
- *физическое* (или параметрическое), связанное с отклонением от нормы физических параметров окружающей среды;
- *биологическое* — это случайное или путем деятельности человека проникновение в экосистемы или технические устройства различных видов животных, микроорганизмов и растений, чуждых данным сообществам и устройствам и обычно там отсутствующих.

По масштабам воздействия различают загрязнение биосферы:

- *локальное* — характерно для городов, крупных промышленных и транспортных предприятий, районов добычи полезных ископаемых, крупных животноводческих комплексов и т. п.;
- *региональное* — охватывает значительные территории и акватории как результат влияния крупных промышленных районов;
- *глобальное* — распространяется на большие расстояния от места возникновения и оказывает неблагоприятное воздействие на крупные регионы, вплоть до общепланетарного влияния (чаще всего связано с выбросами в атмосферу).

3.1.1. Воздействие на атмосферу

На разных территориальных уровнях в зависимости от конкретных условий последствия антропогенного загрязнения ощущаются неодинаково.

- ◆ На *глобальном и континентальном уровнях* главным образом проявляются последствия загрязнения атмосферы углекислым газом и газами, разрушающими озоновый слой, вызывающими изменение климата. Эти изменения ощущают на себе все люди, в какой бы точке планеты они не расселялись, независимо от того, являются ли их поселения причиной таких нарушений в атмосфере.
- ◆ На *макротерриториальном уровне* (крупные регионы отдельных континентов, крупные страны и их большие регионы) вполне реальна миграция аэрозолей (серной кислоты и сульфатов), мелких частиц пыли. Поэтому отдельные населенные пункты испытывают на себе вредное влияние этих веществ, выброшенных в атмосферу на значительных расстояниях от них.
- ◆ На *мезотерриториальном уровне* (малые страны, отдельные промышленные районы) при соответствующих метеорологических условиях вполне вероятно загрязнение данных территорий помимо перечисленных веществ пестицидами, солями тяжелых металлов и особенно сернистым газом, выбросы которого особенно велики в районах с развитой промышленностью.
- ◆ На *микротерриториальном уровне* (отдельные города и населенные пункты) к названным выше загрязнителям добавляются углеводороды, пыль, окислы азота и др. вещества, миграция которых на более значительные расстояния затруднена их физическими и химическими особенностями.

Таким образом, наиболее сильны последствия загрязнения атмосферы в локальных точках — крупных городах, в которых сосредоточен основной промышленный потенциал и подавляющая часть транспортных средств.

Атмосфера не обладает способностью аккумулировать вредные вещества и с течением времени самоочищается. Малая часть загрязнений поднимается на высоту более 3 км. Особенно быстро выпадают крупные частицы пыли, время оборачиваемости которых не превышает двух недель. Аэрозоли удаляются из атмосферы путем прямого выпадения или же вымываются из нее осадками. Однако в большинстве промышленных районов, городских агломерациях и отдельных городах, где темпы выбросов в атмосферу приближаются к скорости их рассеивания и выпадения, возникают критические ситуации.

Степень загрязненности воздушного бассейна (например, города) зависит от многих причин – как естественных, так и антропогенных.

- Удаление городов и целых систем расселения от морских побережий, расположение их в депрессивных районах (со штилями, вызывающими явления температурных инверсий — слой теплого воздуха перекрывает более холодный приземный, при которых прекращается или сильно ослабевает вертикальное перемещение воздушных масс) значительно увеличивает загрязненность воздуха, содержание в нем вредных веществ.
- Время года. Зимой загрязненность воздуха обычно бывает выше, чем летом.
- Большое значение имеет народно-хозяйственный профиль города, его величина, плотность населения и др.

Разрушение озонового слоя

Общее количество озона в атмосфере не велико, тем не менее озон — один из наиболее важных ее компонентов. Благодаря ему смертоносная ультрафиолетовая солнечная радиация в слое между 15 и 40 км над земной поверхностью ослабляется примерно в 6500 раз. Озон образуется в основном в стратосфере под действием коротковолновой части ультрафиолетового излучения Солнца. В зависимости от времени года и удаленности от экватора содержание озона в верхних слоях атмосферы меняется, однако значительные отклонения от средних величин концентрации озона впервые были отмечены лишь в начале 80-х годов прошлого века. Тогда над Южным полюсом планеты резко увеличилась **озоновая дыра** — область с пониженным содержанием озона. Осенью 1985 г. его содержание снизилось относительно среднего на 40%. Уменьшение содержания озона наблюдалось и на других широтах. В частности, на широте Москвы оно составило около 3%.

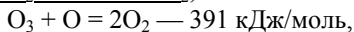
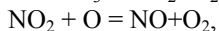
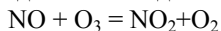
Уменьшение «толщины» озонового слоя приводит к изменению (увеличению) количества ультрафиолетового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли, нарушению теплового баланса планеты. Изменение интенсивности солнечного излучения заметно влияет на биологические процессы, что в конце концов может привести к критическим ситуациям. С увеличением доли ультрафиолетовой составляющей в излучении, доходящем до поверхности планеты, вызывают рост числа раковых заболеваний кожи у людей и животных.

У человека это три вида быстротекущих раковых заболеваний: меланома и две карциномы.

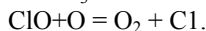
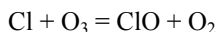
Установлено, что увеличение дозы ультрафиолетового излучения на 1% приводит к увеличению раковых заболеваний на 2%.

По современным данным, озоновая дыра существовала практически всегда, то появляясь время от времени, то исчезая в соответствии с сезонными изменениями в состоянии атмосферы. В начале 80-х годов прошлого века было установлено, что произошли серьезные изменения в динамике этого явления — «дыра» перестала восстанавливаться до исходного состояния. Таким образом, природные колебания концентрации озона в стратосфере усложнились из-за антропогенного воздействия.

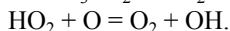
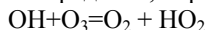
Среди катализаторов разложения озона наиболее важная роль принадлежит оксидам азота:



а также атомам хлора:



В качестве катализатора реакции разложения озона может служить OH -радикал, образующийся с участием паров воды:



По расчетам, одна молекула хлора способна разрушить до 1 млн молекул озона в стратосфере, а одна молекула оксида азота — до 10 молекул O_3 . Феномен антарктической озоновой дыры по одной из теорий объясняется воздействием хлорфторуглеродов (фреонов) антропогенного происхождения. Так, измерения показали почти двукратное превышение фоновых концентраций хлорсодержащих частиц в зоне антарктической «дыры» и наличие в весенние месяцы в стратосфере над Антарктидой областей почти без озона.

Природной причиной разрушения озонового слоя из-за поступления в стратосферу атомарного хлора является хлорметан (CH_3Cl) — продукт жизнедеятельности организмов в океане и лесных пожаров на суше. В то же время достоверно установлено, что в результате деятельности человека в атмосфере появился значительный избыток азотных и галогеноуглеродных соединений.

Оксиды азота антропогенного происхождения образуются из азота и кислорода воздуха при высоких температурах (начиная с 1000 °С и выше) в присутствии катализаторов, в качестве которых выступают различные металлы. Такие условия складываются при сжигании топлив, причем чем выше температура процесса горения, тем больше образуется оксидов азота. Наиболее подходящие условия для образования оксидов азота имеются в современных двигателях, в том числе у воздушных судов, давно освоивших как тропосферу, так и стратосферу.

Кроме того, зона стратосферы, где находится озоновый слой, подвергается воздействию ракетной техники. Принципиально новые проблемы возникают при использовании ракетносителей, в первую очередь на твердом топливе, так как оно содержит много соединений хлора и азота. При подъеме на высоту 50 км при общей массе полезного груза 29,5 т для ускорителей американского «Спейс шатл» количество отходов, наиболее опасных для озонового слоя, составляет, т:

| | |
|--|------|
| хлор и его соединения | 187; |
| оксиды азота (NO ₂) | 7; |
| оксиды алюминия (в виде аэрозолей) | 177. |

Согласно оценкам экспертов Всемирной метеорологической организации, при уровне поступления в атмосферу фреонов, имевшемся в начале 1990-х годов, концентрация озона в стратосфере через 15–20 лет должна уменьшиться на 17%, после чего стабилизироваться. При этом климат у поверхности Земли должен измениться незначительно, а уровень ультрафиолетового излучения — возрасти на треть.

Атомарный хлор образуется в стратосфере в результате фотохимического разрушения хлорфторуглеродов (ХФУ), или фреонов, или хладонов. Эти вещества летучи и устойчивы в тропосфере. Однако в условиях стратосферы они начинают распадаться в связи с образованием свободных атомов галогенов.

Хлорфторуглероды являются очень стабильными веществами. Время их существования в атмосфере велико: многие десятилетия. Они долгое время широко применялись в аэрозольных баллончиках, холодильных и иных установках.

Понимая остроту и сложность этой неожиданно возникшей перед человечеством глобальной экологической проблемы, участники международных переговоров в Вене в марте 1985 г. подписывают Венскую конвенцию по охране озонового слоя, призывающую страны к проведению дополнительных исследований и обмену информа-

цией по сокращению озонового слоя. Однако они не смогли прийти к согласию о единых международных мерах ограничения производства и выбросов ХФУ.

В 1987 г. на международной встрече в Монреале 98 стран заключили соглашение (Монреальский протокол) о постепенном прекращении производства ХФУ и запрещении выбросов их в атмосферу. В 1990 г. на новой встрече в Лондоне ограничения были ужесточены — около 60 стран подписали дополнительный протокол с требованием полностью прекратить производство ХФУ к 2000 г.

В связи с тем, что подобные ограничения затрагивали экономические интересы стран, был организован специальный фонд для помощи развивающимся странам по выполнению требований Протокола. В частности, благодаря Индии было достигнуто отдельное соглашение о передаче этим странам передовых технологий для самостоятельного производства заменителей хлорфторуглеродов.

В нашей стране в мае 1995 г. принято постановление Правительства РФ № 526 «О первоочередных мерах по выполнению Венской конвенции об охране озонового слоя и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой», а в мае 1996 г. — постановление Правительства РФ № 563 «О регулировании ввоза в Российскую Федерацию и вывоза из Российской Федерации озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции».

К сожалению, расчеты показывают, что даже при успешном выполнении принятого графика реализации достигнутых соглашений содержание хлора в атмосфере вернется к уровню 1986 г. (когда впервые было выявлено антропогенное воздействие на озоновый слой) только лишь в 2030 г. Причина этого — миграция фреонов, уже попавших в атмосферу из ее нижних слоев в более высокие, и большое время их «жизни» в природных условиях.

Изменение климата

Одной из наиболее серьезных проблем, связанных с загрязнением атмосферы, является изменение климата, которое выходит за рамки планов и желаний человека и выражается в постепенном повышении среднегодовой температуры, начиная со второй половины прошлого века. С конца XIX века по настоящее время наблюдается тенденция повышения средней температуры атмосферы: за последние 50 лет она повысилась приблизительно на 0,7°C. Это немало.

Существует несколько теорий изменения климата:

- Парниковый эффект.
- Антропогенная теория изменения климата.
- Изменение солнечной активности.
- Теория малого ледникового периода.
- Астрономическая теория Миланковича.

Большинство ученых связывают вышеуказанный факт с накоплением в атмосфере так называемых парниковых газов — диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4), хлорфторуглеродов (фреонов), озона (O_3), оксидов азота и др. Парниковые газы, и в первую очередь CO_2 , препятствуют длинноволновому тепловому излучению с поверхности Земли. По Г. Хефлингу (1990), атмосфера, насыщенная парниковыми газами, действует как крыша теплицы. Она, с одной стороны, пропускает внутрь большую часть солнечного излучения, с другой — почти не пропускает наружу тепло, переизлучаемое Землей.

В связи со сжиганием человеком все большего количества ископаемого топлива: нефти, газа, угля и др. (ежегодно более 9 млрд т условного топлива) — концентрация CO_2 в атмосфере постоянно увеличивается. За счет выбросов в атмосферу при промышленном производстве и в быту растет содержание фреонов (хлорфторуглеродов). На 1–1,5% в год увеличивается содержание метана (выбросы из подземных горных выработок, сжигание биомассы, выделения крупным рогатым скотом и др.). В меньшей степени растет содержание в атмосфере и оксида азота (на 0,3% ежегодно).

Следствием увеличения концентраций этих газов, создающих парниковый эффект, является рост средней глобальной температуры воздуха у земной поверхности. За последние 100 лет наиболее теплыми были 1980, 1981, 1983, 1987 и 1988 гг. В 1988 г. среднегодовая температура оказалась на 0,4°C выше, чем в 1950–1980 гг. В докладе, подготовленном под эгидой ООН международной группой по проблемам климатических изменений, утверждается, что к 2100 г. температура на Земле станет выше на 2–4 градуса. Масштабы потепления за этот относительно короткий срок будут сопоставимы с потеплением, произошедшим на Земле после ледникового периода, а значит, экологические последствия могут быть катастрофическими. В первую очередь это связано с предполагаемым повышением уровня Мирового океана вследствие таяния полярных льдов, сокращения площадей горного оледенения и т. д. Моделируя экологические последствия повышения уровня океана всего лишь на 0,5–2,0 м к концу XXI в., ученые устано-

вили, что это неизбежно приведет к нарушению климатического равновесия, затоплению морских равнин в более чем 30 странах, деградации многолетнемерзлых пород, заболачиванию обширных территорий и к другим неблагоприятным последствиям.

В 2007 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) — наиболее авторитетный международный орган, объединяющий тысячи ученых из 130 стран мира — представила свой четвертый оценочный доклад, в котором содержатся обобщенные выводы о прошлых и нынешних климатических изменениях, их воздействии на природу и человека, а также о возможных мерах по противодействию таким изменениям. В этом докладе говорится, что с 90%-ной вероятностью наблюдаемые изменения климата связаны с деятельностью человека.

Антропогенное происхождение современных климатических изменений, в частности, подтверждают палеоклиматические исследования, основанные на анализе содержания парниковых газов в пузырьках воздуха, вмёрзших в лед. Они показывают, что такой концентрации CO_2 как сейчас не было за последние 650 000 лет (а за эти годы происходило не одно потепление нашей планеты). Причем по сравнению с доиндустриальной эпохой (1750 г.) концентрация углекислого газа в атмосфере выросла на треть. Современные глобальные концентрации метана и закиси азота также существенно превысили доиндустриальные значения.

На международной конференции в Торонто (Канада) в 1985 г. перед энергетикой всего мира поставлена задача сократить к 2005 г. на 20% промышленные выбросы углерода в атмосферу. На Конференции ООН в Киото (Япония) в 1997 г. правительствами 84 стран мира подписан Киотский протокол, по которому страны должны выбрасывать антропогенный углекислый газ не больше, чем они выбрасывали его в 1990 г. Но очевидно, что ощутимый экологический эффект может быть получен лишь при сочетании этих мер с глобальным направлением экологической политики — максимально возможным сохранением сообществ организмов, природных экосистем и всей биосферы Земли.

Утверждается, что солнечная и вулканическая активность может объяснить половину температурных изменений до 1950 года, но их общий эффект после этого был примерно равен нулю. В частности, влияние парникового эффекта с 1750 года в 8 раз выше влияния изменения солнечной активности. Существует ряд работ, предпола-

гающих существование механизмов, усиливающих эффект солнечной активности, которые не учитываются в современных моделях, или что важность солнечной активности в сравнении с другими факторами недооценивается.

Теория малого ледникового периода выступает одним из наиболее сильных аргументов в руках противников концепций антропогенного глобального потепления и парникового эффекта. Они утверждают, что современное потепление — это естественный выход из малого ледникового периода XIV–XIX веков, которое, возможно, приведет к восстановлению температур малого климатического оптимума X–XIII веков или даже атлантического оптимума. В связи с этим, по их мнению, нет ничего удивительного, что в начале XXI века среднегодовые температуры регулярно превышают климатическую норму, ведь сами климатические нормы были написаны под стандарты относительно холодного XIX века. Критики этой теории указывают на неявно содержащееся в ней допущение о некоей "естественно равновесной" температуре, к которой климат якобы имеет тенденцию возвращаться, в то время как с точки зрения физики динамика равновесной температуры всецело определяется энергобалансом планеты.

Астрономическая теория югославского астронома Миланковича (Milankovitch) объясняет изменения климата периодичностями в изменениях эксцентриситета земной орбиты, наклона оси вращения и изменения ее направления (прецессии) при движении Земли вокруг Солнца (с периодами соответственно 96 000, 41 000 и 23 000 лет). Суммарно эти циклы приводят к периодичности в количестве солнечной радиации, получаемой поверхностью Земли в каждой широтной зоне. Задача усложняется тем, что континенты неравномерно распределены на поверхности Земли. Первоначально теория была скептически встречена большинством метеорологов и геологов. И только в 1950-ые и 1960-ые, когда были накоплены палеоклиматические данные, мнение ученых склонилось в пользу этой теории.

Научные споры о причастности человека к глобальному изменению климата продолжаются. Ведь абсолютное доказательство антропогенной гипотезы невозможно в принципе: у нас нет второй Земли, чтобы поставить контрольный опыт, поместив ее в точно такие же условия, что и нашу Землю, но исключив влияние человека. Хотим мы того или нет, все суждения о будущем Земли будут не более чем предположением. Человек, вынужденный продвигаться в полной тьме по незнакомому помещению, старается шагать как можно осто-

рожнее. Точно так же человеческой цивилизации в условиях неопределенности предпочтительнее исходить из той гипотезы, которая предписывает ей более осторожное собственное поведение. Именно такой гипотезой и является антропогенная теория изменения климата.

У антропогенной теории изменения климата есть и другое преимущество: на сегодня она лучше согласована со всеми известными нам фактами, чем любая другая теория.

Кислотные осадки

При нормальном природном составе воздуха обычная дождевая вода имеет слабокислую реакцию ($\text{pH} = 5,5 \dots 5,6$), что связано с хорошей растворимостью в ней CO_2 и образованием слабой угольной кислоты по реакции $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$, а также с присутствием в атмосфере оксидов серы и азота либо хлористого водорода природного происхождения.

Однако физический захват (прилипание с возможным последующим растворением, абсорбция или адсорбция) оседающими частицами воды (осадками) различных химических веществ, присутствующих в атмосферном воздухе в избыточном количестве (преимущественно вследствие антропогенного происхождения), часто приводит к увеличению кислотности (уменьшению значения водородного показателя pH ниже 5,5), т. е. к образованию так называемых кислотных (или кислых) осадков — дождя, тумана, росы, града, снега. Известен также «синдром кислотных частиц», при котором наблюдается оседание твердых частиц сульфатов $\text{Me}_x(\text{SO}_4)$, $\text{Me}(\text{HSO}_4)$ или нитратов $\text{Me}(\text{NO}_3)$ при отсутствии влаги с дальнейшим их растворением в воде на непосредственно подстилающей поверхности с образованием кислот.

Основная причина образования и выпадения кислотных осадков (зачастую неточно называемых кислотными дождями) — наличие в атмосфере оксидов серы и азота, хлористого водорода и иных кислотообразующих соединений. Считается, что преимущественно снижение величины pH вызвано выбросом в атмосферу серосодержащих загрязнений ($\sim 2/3$) и соединений, содержащих азот ($\sim 1/3$). Присутствие в воздухе заметного количества, например, аммиака или ионов кальция (Ca^{2+}) приводит к выпадению не кислых, а щелочных осадков. Однако их также принято называть кислотными, ибо они имеют «нестандартную» кислотность и при попадании на почву или в водоем соответственно меняют кислотность последних.

Диоксид серы SO_2 образуется в больших количествах при сжигании природных органических топлив. Среднее время жизни SO_2 в атмосфере составляет четверо суток. В воздухе он подвержен фотохимическим (под действием солнечного света) превращениям и дальнейшему окислению с образованием триоксида серы SO_3 , гораздо более вредного для окружающей природной среды, чем исходный диоксид.

Соединяясь с парами воды, находящимися в воздухе, SO_3 образует серную кислоту H_2SO_4 . Наибольшая кислотность наблюдается непосредственно после начала выпадения дождя или снега. В этот момент кислотность может быть значительно выше средней, но в процессе выпадения происходит самоочищение атмосферы, и pH приближается к нормальному значению.

Считается, что среди кислотных осадков наиболее сильной кислотой реакцией отличаются кислотные туманы. Так, в Гамбурге однажды была зафиксирована кислотность тумана ($\text{pH} < 2$) более высокая, чем у лимонного сока ($\text{pH} = 2,3$).

Явление кислотности дождей было впервые точно описано еще в середине XIX в. Дж. Смитом, предложившим соответствующий термин по результатам изучения химизма осадков в районе г. Манчестера (Англия). Во второй половине XX в. пропорционально растущим количествам выбросов оксидов серы и азота возросла и значимость последствий кислотных дождей, а в 70–80-е годы в промышленных регионах создалась ситуация, близкая к экологической катастрофе.

Антропогенные выбросы соединений серы и азота характерны практически для любого вида индустриальной деятельности, а их абсолютные потоки в конце XX в. стали сопоставимы с соответствующими геохимическими потоками, иногда даже (на региональном уровне) превышая их.

Основной источник оксидов серы — современная энергетика (теплоэлектростанции, работающие прежде всего на угле), а для оксидов азота — также и транспорт. По существующим оценкам, около половины всей серы, поступающей в атмосферу с выбросами типичной электростанции, удаляется из атмосферы с осадками.

Кислотные осадки ускоряют процессы коррозии металлов, разрушения зданий, сооружений. Установлено, что в промышленных районах сталь ржавеет в 20 раз, а алюминий разрушается в 100 раз быстрее, чем в сельских районах.

Кислотные осадки представляют для человека опасность как при косвенном воздействии (путем изменения объектов окружающей среды), так и при непосредственном контакте.

3.1.2. Воздействие на гидросферу

Под загрязнением водоемов понимают снижение их биосферных функций и экологического значения в результате поступления в них вредных веществ. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей. Россия обладает одним из самых высоких водных потенциалов в мире. 70% рек и озер утратили свои качества.

Загрязнение рек, озер, морей и даже океанов происходит с нарастающей скоростью, так как в водоемы поступает огромное количество взвешенных и растворенных веществ (неорганических и органических).

Основными источниками загрязнения природных вод являются:

1) атмосферные воды, несущие массы вымываемых из воздуха поллютантов (загрязнителей) промышленного происхождения. При стекании по склонам атмосферные и талые воды дополнительно увлекают с собой массы веществ. Особенно опасны стоки с городских улиц, промышленных площадок, несущие массы нефтепродуктов, мусора, фенолов, кислот;

2) городские сточные воды, включающие преимущественно бытовые стоки, содержащие фекалии, детергенты (поверхностно-активные моющие средства), микроорганизмы, в том числе патогенные;

3) промышленные сточные воды, образующиеся в самых разнообразных отраслях производства, среди которых наиболее активно потребляют воду черная металлургия, химическая, лесохимическая, нефтеперерабатывающая промышленность (табл.3.1).

С развитием промышленности и увеличением потребления воды растет и количество жидких отходов — сточных вод. Ежегодно в мире образуется около 700 млрд м³ сточных вод. Примерно 1/3 из них — промышленные сточные воды, загрязненные различными веществами. Только половина жидких промышленных отходов подвер-

гается очистке. Другая половина сбрасывается в водоемы без какой-либо очистки.

Таблица 3.1

**Приоритетные загрязнители водных экосистем
по отраслям промышленности**

| Отрасль промышленности | Преобладающий вид загрязняющих компонентов |
|---|---|
| Нефтегазодобыча, нефтепереработка | Нефтепродукты, СПАВ, фенолы, аммонийные соли, сульфиды |
| Целлюлозно-бумажный комплекс, лесная промышленность | Сульфаты, органические вещества, лигнины, смолистые и жирные вещества, азот |
| Машиностроение, металлообработка, металлургия | Тяжелые металлы, взвешенные вещества, фториды, аммонийный азот, фенолы, смолы |
| Химическая промышленность | Фенолы, нефтепродукты, СПАВ, ароматические углеводороды, неорганика |
| Горнодобывающая, угольная | Флотореагенты, неорганика, фенолы, взвешенные вещества |
| Легкая, текстильная, пищевая | СПАВ, нефтепродукты, органические красители, другие органические вещества |

Существенной географической особенностью загрязнения рек России является то, что основные промышленные районы и наибольшая концентрация населения приурочены главным образом к верховьям водосборных бассейнов (бассейн Камы, Среднее Поволжье, Урал, Кузбасс, верхние течения Оби, Енисея, Ангары). Вследствие этого главные реки России — Волга, Дон, Урал, Обь, Енисей, Лена, Печора — в той или иной мере загрязнены на всем протяжении и оцениваются как загрязненные, а их крупные притоки — Ока, Кама, Томь, Иртыш, Тобол, Тура — относятся к категории сильно загрязненных. Несмотря на уменьшение сброса сточных вод, связанное со спадом производства, наблюдается рост загрязнения рек.

Угрожающие размеры принимает загрязнение морей и всего Мирового океана, которому в условиях современной цивилизации отведена роль гигантской мусорной свалки. Самые значительные факторы загрязнения морей — речной сток, сбросы промышленных, бытовых и сельскохозяйственных отходов; потери нефти и нефтепродуктов при транспортировке, морском бурении, авариях танкеров, промывке судовых цистерн; свалка в море грунтов, изъятых при углублении судоходных каналов и береговых работах; ядерные испытания и разрушение затопленных в море контейнеров с радиоактивными и отравляющими веществами, а также атмосферный перенос загрязняющих веществ.

Почти 70% загрязнений морской среды связано с наземными источниками, поставляющими промышленные стоки, мусор, химикаты, пластмассы, нефтепродукты, радиоактивные отходы. В море приносятся твердые, жидкие, в некоторых случаях газообразные загрязнители, в том числе синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Общее загрязнение ими Мирового океана превысило 6 млн т в год, причем судоходство (включая аварии танкеров) как источник загрязнения наносит гораздо более ощутимый ущерб по сравнению с материковым стоком. Как уже было сказано выше, каждая тонна нефти покрывает тонкой пленкой порядка 12 км^2 водной поверхности. По оценкам специалистов, нефтью уже загрязнена 1/5 акватории Мирового океана. Нефтяная пленка приводит к гибели живых организмов, млекопитающих и птиц, нарушает процессы фотосинтеза и, следовательно, газообмен между гидросферой и атмосферой.

Все внутренние и окраинные моря Российской Федерации испытывают интенсивную антропогенную нагрузку как на самой акватории, так и в результате техногенного воздействия на водосборном бассейне. Нитратов поступает больше всего в Азовское, Черное, Балтийское и Японское моря и сравнительно немного — в Каспийское. Приток СПАВ особенно велик в Японское, Балтийское и Черное моря, мал — в Азовское и Белое моря. Фенолы в значительных количествах поступают в Японское и Балтийское моря.

Установлено, что более 400 видов веществ могут вызвать загрязнение вод. В случае превышения допустимой нормы хотя бы по одному из трех показателей вредности: санитарно-токсикологическому, общесанитарному или органолептическому вода считается загрязненной.

Различают химические, биологические и физические загрязнители. Среди *химических загрязнителей* к наиболее распространенным относят нефть и нефтепродукты, СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества), пестициды, тяжелые металлы, диоксины и др. Очень опасно загрязняют воду *биологические загрязнители*, например вирусы и другие болезнетворные микроорганизмы, и *физические* — радиоактивные вещества, тепло и др.

Наиболее часто встречается химическое и бактериальное загрязнение. Значительно реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение.

Химическое загрязнение — наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть *органическим* (фенолы, пестициды и др.) и *неорганическим* (соли, кислоты, щелочи), *токсичным* (мышьяк, соединения ртути, свинца, кадмия и др.) и *нетоксичным*. При осаждении на дно водоемов или при фильтрации в пласте вредные химические вещества сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок, и т. д., однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Очаг химического загрязнения подземных вод в сильно проницаемых грунтах может распространяться до 10 км и более.

Особо опасно попадание в водные экосистемы нефти. Каждая тонна этого поллютанта покрывает тонкой пленкой примерно 12 км² водной поверхности и загрязняет до 1 млн т морской воды. Нефтяная пленка способствует гибели оплодотворенной икры, нарушает процессы фотосинтеза и выделения кислорода, осуществляемые фитопланктоном, т. е. нарушается газообмен между атмосферой и гидросферой.

Моря и океаны отравляются не только нефтепродуктами. В них попадают промышленные и бытовые отходы, содержащие соли различных металлов, яды, огромное количество пестицидов, удобрений, моющих средств, радиоактивных веществ. Считается, что в водоемы поступает свыше 500 тыс. различных веществ. Тяжелые металлы (ртуть, свинец, цинк, медь, кадмий) активно накапливаются в пищевых цепях, конечное звено которых занимает человек. Известны, например, массовые отравления ртутью, которая попадала в организм людей вместе с рыбой, а также отравление кадмием при использовании загрязненных вод для бытовых целей. Ртуть давно известна как яд. В легких случаях отравление вызывает бессонницу, неспособ-

ность воспринимать критику, страхи, головную боль, депрессию и неадекватные эмоциональные реакции.

Из загрязняющих веществ очень опасны детергенты, или синтетические моющие средства. Выброшенные в водоемы, они сильно пенятся. Слой пены может достигать значительной толщины и препятствует доступу кислорода в воду.

Попадающие в воду полициклические ароматические углеводороды, ароматические амины (например, бензин), N-нитрозосоединения обладают канцерогенным действием, как следствие, вызывают опухолевые образования в разных органах.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в воде патогенных бактерий, вирусов (до 700 видов), простейших, грибов и др. Этот вид загрязнений носит временный характер.

Весьма опасно содержание в воде, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих *радиоактивное загрязнение*. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в воде (стронций-90, уран, радий-226, цезий и др.). Радиоактивные элементы попадают в поверхностные водоемы при сбрасывании в них радиоактивных отходов, захоронении отходов на дне и др. В подземные воды уран, стронций и другие элементы попадают как в результате выпадения их на поверхность земли в виде радиоактивных продуктов и отходов и последующего просачивания в глубь земли вместе с атмосферными водами, так и в результате взаимодействия подземных вод с радиоактивными горными породами.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в воду различных механических примесей (песок, шлам, ил и др.). Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели вод. Применительно к поверхностным водам выделяют еще их загрязнение (а точнее, засорение) твердыми отходами (мусором), остатками лесосплава, промышленными и бытовыми отходами, которые ухудшают качество вод, отрицательно влияют на условия обитания рыб, состояние экосистем.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами. Так, например, известно, что на площадке Кольской атомной станции, расположенной за Полярным кругом, через 7 лет после начала эксплуатации температура подземных вод повысилась с 6 до 19°C вблизи главного корпуса. При повышении тем-

пературы происходит изменение газового и химического состава в водах, что ведет к размножению анаэробных бактерий, росту количества гидробионтов и выделению ядовитых газов — сероводорода, метана. Одновременно происходит цветение воды, а также ускоренное развитие микрофлоры и микрофауны, что способствует развитию других видов загрязнения. По существующим санитарным нормам температура водоема не должна повышаться более чем на 3°C летом и 5°C зимой, а тепловая нагрузка на водоем не должна превышать 12–17 кДж/м³.

3.1.3. Воздействие на литосферу

Почва — один из важнейших компонентов окружающей природной среды. Все основные ее экологические функции замыкаются на одном обобщающем показателе — *почвенном плодородии*.

Одним из видов антропогенного воздействия на почву является усиление процессов водной и ветровой эрозии.

Эрозия почв

Эрозия почв (от лат. *erosio* — разъедание) — разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов и подстилающих пород ветром (ветровая эрозия) или потоками воды (водная эрозия). Земли, подвергшиеся разрушению в процессе эрозии, называют *эродированными*. К эрозионным процессам относят также промышленную эрозию (разрушение сельскохозяйственных земель при строительстве и разработке карьеров), военную эрозию (воронки, траншеи), пастбищную эрозию (при интенсивной пастьбе скота), ирригационную (разрушение почв при прокладке каналов и нарушении норм поливов) и др. Однако настоящим бичом земледелия у нас в стране и в мире остаются водная эрозия (ей подвержены 31% суши) и ветровая эрозия (дефляция), активно действующая на 34% поверхности суши. В США эродировано, т. е. подвержено эрозии, 40% всех сельскохозяйственных земель, а в засушливых районах мира еще больше — 60% от общей площади, из них 20% сильно эродированы. Эрозия оказывает существенное негативное влияние на состояние почвенного покрова, а во многих случаях разрушает его полностью. Падает биологическая продуктивность растений, снижаются урожаи и качество зерновых культур, хлопка, чая и др.

Ветровая эрозия (дефляция) почв. Под ветровой эрозией понимают выдувание, перенос и отложение мельчайших почвенных частиц ветром. Интенсивность ветровой эрозии зависит от скорости ветра, ус-

тойчивости почвы, наличия растительного покрова, особенностей рельефа и от других факторов. Огромное влияние на ее развитие оказывают антропогенные факторы. Например, уничтожение растительности, нерегулируемый выпас скота, неправильное применение агротехнических мер резко активизируют эрозионные процессы. Различают местную (повседневную) ветровую эрозию и пыльные бури. Первая проявляется в виде поземок и столбов пыли при небольших скоростях ветра. *Пыльные бури* возникают при очень сильных и продолжительных ветрах. Скорость ветра достигает 20–30 м/с и более. Пыльные бури безвозвратно уносят самый плодородный верхний слой почв; они способны развеять за несколько часов до 500 т почвы с 1 га пашни, негативно влияют на все компоненты окружающей природной среды, загрязняют атмосферный воздух, водоемы, отрицательно влияют на здоровье человека. В нашей стране пыльные бури неоднократно возникали в Нижнем Поволжье, на Северном Кавказе, в Башкирии и в других районах. Опустошительная пыльная буря отмечалась в апреле 1928 г., когда пострадала огромная площадь земель от Дона до Днепра. Ветер поднял более 15 млн т черноземной пыли до высоты 400–700 м, выдувание почвы достигло 10–12 см, а местами — 25 см, т. е. практически почва была унесена на ту глубину, на которую она была вспахана. Старожилы на Северном Кавказе хорошо помнят пыльную бурю, охватившую в марте-апреле 1960 г. значительную часть Северного Кавказа, Нижнего Дона и южную Украину. На огромной территории был снесен слой плодородной почвы толщиной до 10 см, повреждены озимые. Вдоль полезащитных лесонасаждений, железнодорожных насыпей образовались земляные валы высотой до 2–3 метров. В настоящее время крупнейший источник пыли — Арал. На космических снимках видны шлейфы пыли, которые тянутся в стороны от Арала на многие сотни километров. Общая масса переносимой ветром пыли в районе Арала достигает 90 млн т в год, другой крупный пылевой очаг в России — Черные земли Калмыкии.

Водная эрозия почв (земель). Под водной эрозией понимают разрушение почв под действием временных водных потоков. Различают следующие формы водной эрозии: плоскостную, струйчатую, овражную, береговую. Как и в случае ветровой эрозии, условия для проявления водной эрозии создают природные факторы, а основной причиной ее развития является производственная и иная деятельность человека. В частности, появление новой тяжелой почвообрабатывающей техники, разрушающей структуру почвы, — одна из причин

активизации водной эрозии в последние десятилетия, другие негативные антропогенные факторы: уничтожение растительности и лесов, чрезмерный выпас скота, отвальная обработка почв и др. Среди различных форм проявления водной эрозии значительный вред окружающей природной среде и в первую очередь почвам приносит *овражная эрозия*. Экологический ущерб от оврагов огромен. Овраги уничтожают ценные сельскохозяйственные земли, способствуют интенсивному смыву почвенного покрова, заиливают малые реки и водохранилища, создают густорасчлененный рельеф. Площадь оврагов только на территории Русской равнины составляет 5 млн га и продолжает увеличиваться. Подсчитано, что ежедневные потери почв из-за развития оврагов достигают 100–200 га.

Загрязнение почв

Поверхностные слои почв легко загрязняются. Большие концентрации в почве различных химических соединений — токсикантов пагубно влияют на жизнедеятельность почвенных организмов. При этом теряется способность почвы к самоочищению от болезнетворных и других нежелательных микроорганизмов, что чревато тяжелыми последствиями для человека, растительного и животного мира. Например, в сильно загрязненных почвах возбудители тифа и паратифа могут сохраняться до полутора лет, тогда как в незагрязненных — лишь в течение двух-трех суток.

Основные загрязнители почвы: 1) пестициды (ядохимикаты); 2) минеральные удобрения; 3) отходы и отбросы производства; 4) газодымовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; 5) нефть и нефтепродукты. В мире ежегодно производится более миллиона тонн пестицидов. Только в России используется более 100 индивидуальных пестицидов при общем годовом объеме их производства 100 тыс. т. Наиболее загрязненными пестицидами районами являются Краснодарский край и Ростовская область (в среднем около 20 кг на 1 га). В России на одного жителя в год приходится около 1 кг пестицидов, во многих других развитых промышленных странах мира эта величина существенно выше. Мировое производство пестицидов постоянно растет. В настоящее время влияние пестицидов на здоровье населения многие ученые приравнивают к воздействию на человека радиоактивных веществ. Достоверно установлено, что при применении пестицидов наряду с некоторым увеличением урожайности отмечается рост

видового состава вредителей, ухудшаются пищевые качества и сохранность продукции, утрачивается естественное плодородие и т. д.

Вторичное засоление и заболачивание почв

В процессе хозяйственной деятельности человек может усиливать природное засоление почв. Такое явление носит название *вторичного засоления* и развивается оно при неумеренном поливе орошаемых земель в засушливых районах. Во всем мире процессам вторичного засоления и осолонцевания подверженно около 30% орошаемых земель. Площадь засоленных почв в России составляет 36 млн га (18% общей площади орошаемых земель). Засоление почв ослабляет их вклад в поддержание биологического круговорота веществ. Исчезают многие виды растительных организмов, появляются новые растения галофиты (солянка и др.). Уменьшается генофонд наземных популяций в связи с ухудшением условий жизни организмов, усиливаются миграционные процессы. *Заболачивание почв* наблюдается в сильно переувлажненных районах, например, в Нечерноземной зоне России, на Западно-Сибирской низменности, в зонах вечной мерзлоты. Заболачивание почв сопровождается деградационными процессами в биоценозах, появлением признаков оледенения и накоплением на поверхности неразложившихся остатков. Заболачивание ухудшает агрономические свойства почвы и снижает производительность лесов.

Опустынивание

Одним из глобальных проявлений деградации почв, да и всей окружающей природной среды в целом, является *опустынивание*. Опустынивание — это процесс необратимого изменения почвы и растительности и снижения биологической продуктивности, который в экстремальных случаях может привести к полному разрушению биосферного потенциала и превращению территории в пустыню. Всего в мире подвержено опустыниванию более 1 млрд га практически на всех континентах. Причины и основные факторы опустынивания различны. Как правило, к опустыниванию приводит сочетание нескольких факторов, совместное действие которых резко ухудшает экологическую ситуацию. На территории, подверженной опустыниванию, ухудшаются физические свойства почв, гибнет растительность, засоляются грунтовые воды, резко падает биологическая продуктивность, а следовательно, подрывается и способность экосистем восстанавли-

ваться. «И если эрозию можно назвать недугом ландшафта, то опустынивание — это его смерть» (доклад ФАО ООН). Процесс этот получил столь широкое распространение, что явился предметом международной программы «Опустынивание». В докладе ЮНЕП (организация ООН по окружающей среде) подчеркивается, что опустынивание — это результат длительного исторического процесса, в ходе которого неблагоприятные явления природы и деятельность человека, усиливая друг друга, приводят к изменению характеристик природной среды. Опустынивание является одновременно социально-экономическим и природным процессом, оно угрожает примерно 3,2 млрд га земель, на которых проживают более 700 млн человек. Особенно опасное положение сложилось в Африке в зоне Сахеля (Сенегал, Нигерия, Буркина, Фасо, Мали и др.) — переходной биоклиматической зоне (шириной до 400 км) между пустыней Сахара на севере и саванной на юге.

3.2. Управление качеством окружающей среды

3.2.1. Нормирование качества окружающей среды

Одним из основных путей ограничения негативного влияния на биосферу является нормирование (установление норм) допустимых уровней воздействия на отдельные экосистемы и компоненты всей биосферы. Нормирование качества окружающей среды — одна из центральных идей Закона РСФСР от 19.12.91 № 206-1 «Об охране окружающей природной среды».

Качество природной среды — совокупность показателей состояния ее экологических систем, которое постоянно и неизменно обеспечивает (или не обеспечивает) полноценные процессы обмена веществ и энергии в природе, между природой и человеком, а также условия для воспроизводства жизни. Качество природы обеспечивается самой природой путем саморегуляции, самоочищения от вредных для нее веществ.

Качество ОС характеризуется совокупностью химических, физических, биологических и иных ее показателей.

Благоприятная окружающая среда — такая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов.

Цель нормирования — государственное регулирование воздействия хозяйственной и иной деятельности на ОС, гарантирующего

сохранение благоприятной ОС при соблюдении социальных и экономических интересов общества.

Разработка нормативов в области охраны ОС включает в себя:

- установление оснований для разработки или пересмотра нормативов;
- научно-исследовательские работы по обоснованию нормативов;
- экспертизу, утверждение и опубликование в установленном порядке;
- контроль за применением и соблюдением нормативов;
- формирование и ведение единой информационной базы данных;
- оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения нормативов.

В определенной степени допустимые нормативы — это в настоящее время компромисс между экономикой и экологией, компромисс вынужденный, позволяющий взаимовыгодно развивать хозяйство и охранять жизнь, благополучие и благосостояние людей.

Роль нормативов качества ОС заключается, с одной стороны, в оценке ее (среды) качества, с другой — в установлении лимитов (ограничений) на источники вредного воздействия.

В связи с этим нормативы качества базируются на трех основных показателях:

- *медицинском* — пороговом уровне угрозы здоровью человека, его генетической программе;
- *технологическом* — способности экономики техническими средствами обеспечить выполнение установленных пределов воздействия на человека и среду его обитания;
- *научно-техническом* — способности с помощью технических средств контролировать соблюдение пределов всех видов антропогенного воздействия на человека и окружающую его среду.

Норматив становится юридически обязательным только с момента утверждения его компетентным органом.

Нормативы качества окружающей среды едины и обязательны для всех природопользователей, независимо от формы собственности и подчиненности на всей территории России. При этом Федеральный закон «Об охране ОС» от 10.01.02 № 7-ФЗ (ст. 22, п. 2) предусматривает, что нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества ОС с учетом

природных особенностей территорий и акваторий. Неслучайно для таких особо охраняемых природных территорий, как заповедники, заказники, национальные и природные парки, а также для курортных и рекреационных зон установлены более строгие нормативы допустимого воздействия.

В соответствии с п. 3 ст. 19 Федерального закона «Об охране ОС» нормативы и нормативные документы разрабатываются, утверждаются и вводятся в действие на основе современных достижений науки и техники с учетом международных правил и стандартов.

Разработанные в конце XX в. и действующие в настоящее время экологические нормативы чаще всего объединяют в группы, рассмотренные далее.

Нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимые концентрации химических (включая радиоактивные) и биологических веществ и микроорганизмов в атмосфере, воде и почве являются в настоящее время главными нормативами качества ОС.

ПДК вредных веществ — это верхний предел устойчивости организма, при превышении которого концентрация того или иного вещества (как экологический фактор) становится лимитирующей.

Основные принципы, применяемые в нашей стране при санитарно-гигиеническом нормировании химических веществ, разработаны академиками А. Н. Сысиным и С. Н. Черкинским. Один из них заключается в концепции пороговости воздействия. **Порог воздействия** — это такая концентрация химического вещества или любого вида воздействия, которая вызывает переход биологического объекта из одного качественного состояния в другое.

Установление численного значения ПДК основывается на следующих предпосылках:

- допустимой признается такая концентрация, которая прямо или косвенно не оказывает вредного или неприятного воздействия на человека, его работоспособность, самочувствие и настроение;
- привыкание к вредному веществу недопустимо;
- воздействие на человека оценивается по влиянию на самые чувствительные органы с двух- или трехкратным запасом;
- реакция организма определяется по данным объективных измерений.

Разработка нормативов ПДК проводится с применением методов токсикологии — науки о потенциальной опасности воздействия вредных веществ на живые организмы и экосистемы.

Исследования и количественная оценка токсичности и опасности веществ включают в себя большой набор показателей с обязательной оценкой смертельных эффектов, кумулятивности, кожно-раздражающего, сенсибилизирующего, эмбриотропного действия, влияния на сердечно-сосудистую систему, репродуктивную функцию, исследование отдаленных эффектов.

Большая часть исследований проводится в экспериментах на животных (крысах, мышах, кроликах, обезьянах и др.). Ряд параметров получают по результатам обобщения и статистического анализа данных наблюдений работников соответствующих производств, а некоторые параметры — по результатам экспериментов на людях-добровольцах (определение порогов воздействия, раздражающего и рефлекторного действия и т. п.). Исследования на людях проводятся лишь в случае полной гарантии безопасности испытуемых (таково требование Хельсинской конвенции и ряда других международных и отечественных документов).

Процедура разработки и утверждения нормативов ПДК достаточно длительна, трудоемка и дорога, поэтому действующими в нашей стране правилами предусматривается после получения предварительных результатов исследований устанавливать норматив ориентировочно безопасного уровня воздействия (ОБУВ) — временный гигиенический норматив, утверждаемый постановлением Главного Государственного санитарного врача РФ по рекомендации Комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

Норматив ОБУВ устанавливается сроком на три года, после чего он должен быть пересмотрен или заменен окончательным значением ПДК. С момента утверждения ПДК ранее установленный ОБУВ для данного вещества утрачивает силу.

Воздушная среда

Все загрязняющие вещества в токсикологии принято оценивать по их воздействию на организм. Наиболее характерными являются собственно токсические (резорбтивные) и рефлекторные (органолептические) воздействия. Рефлекторные реакции могут проявляться в форме ощущения запаха, световой чувствительности и т.п. Резорбтивное воздействие может быть общетоксическим, канцерогенным, мутационным и др. Эти обстоятельства вызвали необходимость устанавливать для загрязняющих воздух веществ два вида ПДК: максимально разовую и среднесуточную. Первая вводится с целью предупреждения негативных рефлекторных реакций при кратковременном

воздействии и обозначается $\text{ПДК}_{\text{мр}}$, а вторая — для предупреждения токсического действия ($\text{ПДК}_{\text{с.с}}$). Для веществ, порог токсичности воздействия которых на организм пока не известен, а также для особо опасных веществ существуют только максимальные разовые ПДК .

$\text{ПДК}_{\text{мр}}$ — предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест (мг/м^3). Эта концентрация при вдыхании в течение 20 минут не должна вызывать рефлекторных (ощущение запаха, световой чувствительности и т. д.) реакций в организме человека.

$\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ — предельно допустимая среднесуточная концентрация вещества в воздухе населенных мест (мг/м^3). Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно долгом вдыхании.

Мы знаем, что экологическая ниша человека (как совокупность его требований к факторам окружающей среды) неизменна, где бы он ни находился. Это значит, что условие $C \leq \text{ПДК}$ (где C — это концентрация загрязняющего вещества от данного источника выбросов) должно соблюдаться в любых местах пребывания человека. Очевидно, что содержание примесей в воздухе рабочего помещения неизбежно больше, чем на площадке предприятия и тем более за ее пределами, т. е. в населенных пунктах, куда примеси доходят в той или иной мере рассеянными. В этих обстоятельствах нереально иметь единую ПДК для того или иного загрязняющего вещества. Поэтому были разработаны принципы *раздельного нормирования* загрязняющих веществ. Это значит, что для каждого вредного вещества устанавливается несколько максимально разовых предельно допустимых концентраций в воздушной среде: как минимум две. В частности, одно значение ПДК устанавливается в воздухе рабочей зоны ($\text{ПДК}_{\text{рз}}$), другое — в атмосферном воздухе населенного пункта.

$\text{ПДК}_{\text{рз}}$ — это предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны (мг/м^3). Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 часов или при другой продолжительности рабочего дня (но не более 41 часа в неделю) в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки настоящего и будущего поколений. Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

ПДК_{а.в.} — это максимальная концентрация примеси, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

Концентрация вредного вещества в воздухе производственных помещений не должна превышать ПДК_{рз}, в воздухе для вентиляции производственных помещений — 0,3 ПДК_{рз}, в атмосферном воздухе населенных пунктов — ПДК_{мр}, в зоне отдыха и курортов — 0,8 ПДК_{мр}.

Загрязняющие вещества по степени воздействия на организм человека разделены по следующим классам опасности (ГОСТ 12.1.007-76):

- I — чрезвычайно опасные (ПДК_{рз} < 0,1 мг/м³);
- II — высоко опасные (ПДК_{рз} = 0,1–1,0 мг/м³);
- III — умеренно опасные (ПДК_{рз} = 1,0–10,0 мг/м³);
- IV — мало опасные (ПДК_{рз} > 10,0 мг/м³).

Различные вещества могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм (в офсетной печати — фенол и ацетон; в высокой печати — оксид азота (IV) и формальдегид), т. е. обладать эффектом суммации негативного воздействия. Их концентрации в этом случае должны удовлетворять условию:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, \dots, C_n — концентрации вредных веществ, обладающих эффектом суммации;

ПДК₁, ПДК₂, ..., ПДК_n — предельно допустимые концентрации этих веществ.

Основными организациями, контролирующими выбросы предприятий, являются территориальные органы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Государственная инспекция по контролю за работой газоочистных и пылеулавливающих установок и т. д.

В целях предотвращения загрязнения окружающей среды для каждого источника загрязнения и для всего предприятия в целом устанавливаются научно-технические нормативы — предельно допустимые экологические нагрузки на окружающую среду (ПДЭН). Для выбросов вредных веществ в атмосферу — предельно допустимый выброс (ПДВ), для сброса сточных вод — норматив допустимых сбросов (НДС).

НДС (г/с) (это норматив допустимого сброса) — норматив, установленный в соответствии с показателями массы химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, допустимых для поступления в окружающую среду в установленном режиме с учетом технологических нормативов и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.

ПДВ одних и тех же вредных веществ, используемых в различных регионах и на различных предприятиях, могут не быть одинаковыми. Они устанавливаются с учетом рельефа местности, метеорологических условий, фоновых концентраций и характера выбросов.

Если в воздухе населенного места концентрация загрязняющего вещества больше ПДК, а величина ПДВ действующего предприятия по объективным причинам не может быть достигнута, то в этом случае предусматривается поэтапное снижение количества загрязнителя, и на каждом этапе устанавливается временно согласованный выброс (ВСВ), (г/с).

При установлении ПДВ и ВСВ необходимо учитывать фоновые концентрации, значения которых выдаются предприятию территориальными надзирающими организациями. Для городов с населением от 10 до 50 тысяч человек приняты временные нормы фоновых концентраций веществ (мкг/м³): SO₂ — 13; NO₂ — 83; CO — 2,5; ВВ — 254 (Росгидромет, 2013).

Водная среда

Загрязненность водного объекта — такое состояние водного объекта в официально установленном месте использования воды, при котором наблюдается отклонение от нормы (ПДК) в сторону увеличения содержания тех или иных нормируемых компонентов, в результате чего водные объекты могут быть частично или полностью непригодны для водопользования. Загрязняющим воду веществом считается не любая примесь и не в любом количестве, а лишь избыточная, которая приводит к нарушению нормативов качества воды. Таким образом, загрязненность воды — не абсолютное понятие, оно относится только к вполне определенному месту или зоне водного объекта и к конкретному виду водопользования. Поэтому водный объект вне места водопользования не считается загрязненным, даже если его экосистема полностью разрушена вследствие сброса вредных веществ.

К качеству воды каждой из категорий водопользования предъявляются различные требования: в одних случаях более, в других — менее жесткие. Например, присутствие хлорорганических ядохимикатов в водных объектах I категории допускается в весьма ограниченных количествах: 0,02 мг/л. В воде рыбохоз. водоемов (II категория) присутствие этих веществ вообще не допускается, что объясняется закономерностью прогрессивного накопления токсикантов в пищевых цепях.

При нормировании вредных веществ в воде учитываются три основных критерия: 1) общий санитарный режим водного объекта; 2) органолептические свойства; 3) здоровье населения.

Некоторые вещества могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм только при попадании внутрь, другие опасны, кроме того, и при контактном воздействии. Соответственно, присутствие первых лимитирует использование воды для питья и приготовления пищи (санитарно-токсикологическое ограничение), а вторых — ограничивает возможности для купания и умывания (санитарное ограничение). Таким образом, для обеспечения чистоты водных объектов одновременно с ПДК используется другой ограничительный норматив: лимитирующий показатель вредности (ЛПВ), не имеющий количественной характеристики, а отражающий приоритетность требований к качеству воды в тех случаях, когда водный объект имеет полифункциональное назначение. В водных объектах культурно-бытового и хозяйственно-питьевого назначения в основу приоритетности нормирования положено преимущественно санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический лимиты, а в рыбохозяйственных — в основном токсикологический и отчасти органолептический.

ПДК в воде водного объекта — это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и возможность ограничения или нарушения нормальных условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и др. видов водопользования. Иными словами, ПДК — это такая концентрация, при превышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

Состав и свойства воды в водных объектах должны соответствовать нормативам в створе (поперечном сечении), заложенном на водотоках — в 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования (рис. 3.1), а на непроточных водоемах — в радиусе 1 км от пункта водопользования. Принцип раздельного нормирования каче-

ства воды связан с приоритетным назначением водного объекта, т. е. с категориями водопользования.

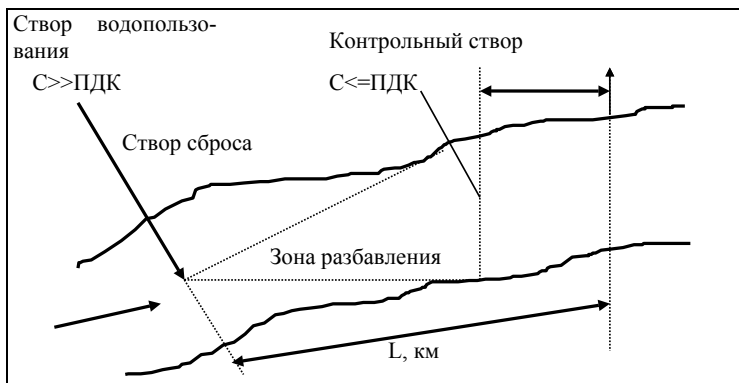


Рис. 3.1. Нормирование загрязняющих веществ в воде водотока

ПДС — предельно допустимый сброс в водный объект — масса загрязняющего вещества в возвратной воде, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном вердикте водопользования в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном створе или неухудшения сформировавшегося качества воды, если оно хуже нормативного.

Сброс возвратной воды в водные объекты разрешается при наличии разрешения на спецводопользование, в котором отражены объемы сброса, перечень ингредиентов возвратной воды и качественные характеристики сброса, условия и порядок контроля показателей качества возвратной воды, план мероприятий по достижению ПДС, срок согласования — срок действия разрешения на спецводопользование.

Для получения разрешения на спецводопользование необходимо представить в территориальный орган Министерства природных ресурсов и экологии ходатайство и проект нормативов ПДС. Разрешение выдается после согласования проекта ПДС и условий сброса с заинтересованными организациями.

Для разработки проекта ПДС необходимо согласовать перечень ингредиентов в возвратной воде и определить их фактическую концентрацию, и провести инвентаризацию количества выпусков в водоем.

Если для действующего предприятия величина ПДС по объективным причинам не может быть достигнута, то в этом случае предусматривается поэтапное снижение количества загрязнителя и на каждом этапе устанавливается временно согласованный сброс (ВСС) (г/с).

Почвенная среда

Предельно допустимая концентрация вещества в почве — это такая максимальная концентрация индивидуального вредного вещества, при которой оно прямо или косвенно не влияет на соприкасающиеся с почвой среды, на здоровье человека, а также на способность почвы к самоочищению и вегетации (росту и развитию) растений. В соответствии с путями миграции химических веществ из почвы выделяют следующие разновидности показателей вредности загрязнения почв:

- транслокационная — характеризующая переход веществ из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений;
- миграционная воздушная — переход веществ из почвы в атмосферу;
- миграционная водная — переход веществ из почвы в подземные грунтовые воды и водоисточники;
- общесанитарное влияние веществ на самоочищающую способность почв и микробиоценоз.

В процессе экспериментов определяют лимитирующий показатель вредности, и соответствующая ему наименьшая массовая доля загрязняющего вещества принимается в качестве ПДК в целом для почвы.

Нормативы предельно допустимых остаточных количеств вредных химических веществ в продуктах питания (ПДК_{пр.пит.}). Вредные вещества попадают в продукты питания человека различными путями: из почвы через корни, из воздуха через листья, а также при опрыскивании различными ядохимикатами. В любом случае они далее включаются в пищевые цепи и попадают в организм человека. Поэтому основным ограничением является допустимое остаточное количество (ДОК) вредного вещества в продуктах питания или в урожае в период его сбора, которое измеряется в граммах или миллиграммах на 1 кг кормовых или пищевых продуктов.

Наиболее распространенные вредные вещества в продуктах питания — это пестициды, тяжелые металлы и их соединения, синтетические моющие средства, нитраты, нитриты, радионуклиды, токсины микроорганизмов, лекарственные средства. Часть этих веществ попа-

дает с исходным сырьем, часть — в результате непреднамеренного загрязнения при переработке (остатки упаковки, моющие средства и т. п.). В нашей стране в пищевых продуктах контролируются 14 химических ингредиентов, из которых наиболее опасны соединения кадмия, ртути и свинца.

Тяжелые металлы и их соединения взаимодействуют с белками, блокируют различные ферментные системы и нарушают физиологические функции организма. Они накапливаются в органах и тканях, особенно в костной.

В наши дни большое количество вредных веществ, обнаруживаемых в продуктах питания человека в недопустимых количествах, попадает в них с пищевыми добавками. В разных странах используется более 500 наименований специальных добавок. Это химические средства консервации, пищевые красители, вкусовые ингредиенты и вещества, улучшающие товарный вид, антиокислители и др.

Первые законодательные акты, регламентирующие их применение, появились в 1887 г. в Германии, где был издан закон о пищевых красителях. Позже подобные требования были предъявлены и в других странах, причем сначала они были основаны на «негативных списках» — перечнях запрещенных веществ. В настоящее время большинство стран, включая Россию, используют «позитивные списки» — перечни веществ, рекомендованных для использования в пищевой промышленности. По отечественному законодательству нормативы ПДК_{пр. пит.} устанавливают для каждого химического вещества отдельно и при их суммарном действии. Кроме прочих, установлены нормы содержания в продуктах питания радионуклидов (цезия и стронция), применяемых в ветеринарии антибиотиков, транквилизаторов, гормонов. Повышенные требования применяют к детскому и лечебному питанию.

Нормативы предельно допустимых уровней (ПДУ) физических воздействий:

- ПДУ шума;
- ПДУ виброскорости;
- ПДУ напряженности электромагнитных полей высоковольтных линий электропередач;
- ПДУ облучения для источников высокочастотных (ВЧ), ультравысокочастотных (УВЧ) и сверхвысокочастотных (СВЧ) излучений;
- ПДУ радиационного воздействия, в том числе предельно допус-

тимые дозы (ПДД) ионизирующих излучений, зависящие от категории населения А (персонал), Б (лица, которые не соприкасаются непосредственно с источниками излучения, однако по условиям работы или проживания могут подвергаться радиационному воздействию), В (остальное население);

- ПДУ теплового загрязнения, в том числе допустимый уровень отклонения температуры воды в естественных условиях.

При отсутствии норм ПДК для различных сред устанавливают временный гигиенический норматив ВДК (ОБУВ) — временно допустимая концентрация (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вещества. Временный норматив устанавливают на определенный срок (2–3 года), затем пересматривают.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки (НДАН) на ОС. Их устанавливают по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на ОС, а также по совокупному воздействию всех стационарных, передвижных и других источников, расположенных в пределах конкретных территорий и (или) акваторий с учетом их природных особенностей. Эти нормативы применяют при формировании территориально-производственных комплексов, развитии промышленности, сельского хозяйства, строительстве и реконструкции городов, иных населенных пунктов. Целью является обеспечение благоприятных условий жизни людей при недопущении необратимых изменений естественных экологических систем или иначе — рациональное сочетание хозяйственной и иной деятельности по использованию природных ресурсов с охраной природы.

3.2.2. Охрана атмосферы

Для защиты воздушного бассейна от негативного антропогенного воздействия в виде загрязнения его вредными веществами используют следующие меры:

1. *Архитектурно-планировочные мероприятия* включают рациональное размещение предприятий и производственных цехов. Наиболее эффективный, дешевый, надежный метод борьбы с загрязнением атмосферы — организация санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий, которые представляют собой территории определенной протяженности и ширины, располагающиеся между предприятиями или источниками загрязнения и границами зон жилой застройки, где не могут располагаться жилые и общественные здания. С 1981 г. расчет (СЗЗ) регламентируется Государственным стандартом, причем установлено, что каждое предприятие, имеющее

источники загрязнения среды, должно иметь санитарно-защитную зону. Для этой цели все предприятия сгруппированы по отраслям в зависимости от совокупности вызываемых ими вредностей. Имеется 10 таких групп, например, предприятия химической промышленности, металлургические, добывающие, тепловые электростанции и др. В пределах каждой группы выделяется 5 классов предприятий по степени их экологической опасности и в зависимости от класса устанавливается нормативный размер (СЗЗ), который зависит от мощности, условий осуществления технологического процесса, характера и количества выделяемых в окружающую среду вредных веществ. Так, среди предприятий химической промышленности к первому классу опасности относится производство аммиака, азотной кислоты, азотных удобрений. К V классу относят производство полиграфических красок, неорганических реактивов, а также производство пластмасс и синтетических смол. Протяженности СЗЗ для предприятий 1 класса составляет 2000 м, II — 1000 м, III — 500 м, IV — 300 м, V — 100 м. Зеленые насаждения (деревья и кустарники) поглощают газы, пары, пыль, снижают уровень шума, насыщают воздух кислородом. При озеленении санитарно-защитной зоны загрязнение воздуха на расстоянии 1500 м от источника выброса уменьшается в 2 раза по пыли и в 3 раза по сернистым соединениям.

2. *Конструктивно-технологические мероприятия* включают комплексное использование сырья, безотходную и малоотходную технологию, герметизацию технологического оборудования, использование вторичных энергетических ресурсов (отработанный горячий воздух аппаратов для выпечки рыбы и др.). Выбросы в атмосферу экологически вредных веществ можно уменьшить благодаря совершенствованию техники и технологии сжигания топлива.

3. Другая мера защиты воздушного бассейна от выбросов — *рассеивание газообразных веществ и пыли в атмосфере через высокие дымовые трубы*.

Рассеивание пылегазовых выбросов осуществляют с помощью высоких дымовых труб. Чем выше труба, тем больше ее рассеивающий эффект. На ряде предприятий высота дымовых труб достигает более 300 м. Так, на медно-никелевом комбинате в г. Садбери (Канада) высота трубы 407 м. Значительную высоту (не менее 100 м) имеют вентиляционные (выбросные) трубы на АЭС для рассеивания радиоактивных выбросов. Следует признать, что рассеивание газовых примесей в атмосфере — это далеко не самое лучшее решение проб-

лемы, связанной с загрязнением воздушного бассейна. По мнению А. Гора (1993), «применение высоких дымовых труб, хотя и помогло уменьшить локальное дымовое загрязнение, осложнило в то же время региональные проблемы выпадения кислотных дождей. Чем выше от поверхности земли происходит выброс загрязняющих газов, тем дальше от своего источника они распространяются. Примеси, досаждающие лондонцам в виде смога, губят листву в лесах Скандинавии».

Рассеивание вредных веществ в атмосфере — это временное, вынужденное мероприятие, которое осуществляется вследствие того, что существующие очистные устройства не обеспечивают полной очистки выбросов от вредных веществ.

4. Основным направлением защиты воздушного бассейна от выбросов является *очистка вентиляционного воздуха и газов* перед выбросом в атмосферу с помощью современных технологических и санитарных газопылеочистительных установок.

К сожалению, нынешний уровень развития экологизации технологических процессов, внедрения замкнутых технологических циклов и т. д. недостаточен для полного предотвращения выбросов токсичных веществ в атмосферу. Поэтому на предприятиях повсеместно используются различные методы очистки отходящих газов от аэрозолей (пыли, золы, сажи) и токсичных газо- и парообразных примесей (NO , NO_2 , SO_2 , SO_3 и др.).

Для очистки выбросов от *аэрозолей* в настоящее время применяются различные типы устройств в зависимости от степени запыленности воздуха, размеров твердых частиц и требуемого уровня очистки.

Сухие пылеуловители (циклоны, пылеосадительные камеры) предназначены для грубой механической очистки выбросов от крупной и тяжелой пыли. Принцип работы — оседание частиц под действием центробежных сил и сил тяжести. Пылегазовый поток вводится в циклон через патрубок, далее он совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса; частицы пыли отбрасываются к стенкам циклона и затем падают вниз в сборник пыли (бункер), откуда периодически удаляются. Для повышения эффективности работы применяют групповые (батареиные) циклоны.

Мокрые пылеуловители (скрубберы, турбулентные, газопромыватели и др.) требуют подачи воды и работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель под действием сил инерции и броуновского движения. Наибольшее практическое применение получили скрубберы Вентури, которые обеспечивают 99% очистки от

частиц размером более 2 мкм и, как все мокрые пылеуловители, незаменимы при очистке от пыли взрывоопасных и горячих газов.

Фильтры (тканевые, зернистые) способны задерживать мелкодисперсные частицы пыли до 0,05 мкм. Особенно эффективны рукавные фильтры с тканями из синтетических волокон повышенной термостойкости (250–300°C) типа сульфон-Т, фильтровальные металлические ткани (до 800°C), а также фильтры из тканей типа ФПП и ФПА, дающие высокую степень очистки.

Электрофильтры — наиболее совершенный способ очистки газов от взвешенных в них частиц пыли размером до 0,01 мкм при высокой эффективности очистки газов (99,0–99,5%). Принцип работы всех типов электрофильтров основан на ионизации пылегазового потока у поверхности коронирующих электродов. Приобретая отрицательный заряд, пылинки движутся к осадительному электроду, имеющему знак, обратный заряду коронирующего электрода. При встряхивании электродов осажденные частички пыли под действием силы тяжести падают вниз в сборник пыли. Электроды требуют большого расхода электроэнергии — это их основной недостаток. Наиболее эффективны *комбинированные методы* очистки от пыли. Например, отличные результаты дает очистка агломерационных газов в батарейных циклонах с последующей доочисткой в скрубберах Вентури, а также в электрофильтрах.

Способы очистки выбросов от *токсичных газо- и паровых примесей* (NO, NO₂, SO₂ и др.) подразделяют на три основные группы: 1) поглощение примесей путем применения каталитического превращения; 2) промывка выбросов растворителями примеси (абсорбционный метод) и 3) поглощение газообразных примесей твердыми телами с ультрамикropористой структурой (адсорбционный метод).

С помощью *каталитического метода* токсичные компоненты промышленных выбросов превращают в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды путем введения в систему дополнительных веществ, называемых катализаторами. Широко применяют палладийсодержащие и ванадиевые катализаторы. С их помощью происходит каталитическое дожигание оксида углерода до диоксида и диоксида серы до оксида. Возможно также восстановление оксидов азота аммиаком до элементарного азота. Одно из разновидностей этого метода — дожигание вредных примесей с помощью газовых горелок (факельное сжигание), широко используется на нефтеперерабатывающих заводах.

Абсорбционный метод основан на поглощении вредных газообразных примесей жидким поглотителем (абсорбентом). В качестве абсорбента используют воду, растворы щелочей (соды), аммиака и др. Газообразные цианистые соединения абсорбируют, например, 5%-ным раствором железного купороса. Устройство, в котором осуществляют процесс абсорбции, называют *абсорбером*.

Адсорбционный метод позволяет извлекать вредные компоненты из промышленных выбросов с помощью *адсорбентов* — твердых тел с ультрамикropористой структурой (активированный уголь и глинозем, силикагель, цеолиты, сланцевая зола и другие вещества). Например, на АЭС широко применяется метод очистки технологических газов путем сорбции радиоактивных продуктов на угольных фильтрах — адсорбентах, которые позволяют надежно предотвратить загрязнение атмосферы при всех режимах работы АЭС.

Наиболее радикальная мера охраны воздушного бассейна от загрязнения — *экологизация технологических процессов* и в первую очередь создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий, исключающих попадание в атмосферу вредных загрязняющих веществ.

Учитывая исключительную актуальность охраны атмосферного воздуха от загрязнения отработанными газами (ОГ) автомобилей, первоочередной проблемой является создание экологически чистых видов транспорта. В настоящее время ведется активный поиск более чистого топлива, чем бензин. В качестве его заменителя рассматриваются экологически чистое газовое топливо, метиловый спирт (метанол), малотоксичный аммиак и идеальное топливо — водород. Продолжаются интенсивные разработки по замене карбюраторного двигателя на более экологичные типы — дизельный, паровой, газотурбинный и др.

В опытно-конструкторских бюро созданы пробные модели автомобилей, работающих на энергии электрических аккумуляторов в черте города, а за его пределами переходящих на работу на обычных карбюраторных двигателях. Продолжаются работы по созданию идеального с точки зрения экологических требований вида транспорта — автомобиля на солнечных элементах.

3.2.3. Охрана гидросферы

Поверхностные воды охраняют от засорения, загрязнения и истощения. Для предупреждения засорения принимают меры, исключая попадание в поверхностные водоемы и реки строительного мусора, твердых отходов, остатков лесосплава и других предметов, негативно влияющих на качество вод, условия обитания рыб и др. Истощение поверхностных вод предотвращают путем строгого контроля минимально допустимым стоком вод.

Важнейшая и наиболее сложная проблема — защита поверхностных вод от загрязнения. С этой целью предусматриваются следующие экозащитные мероприятия:

- развитие безотходных и безводных технологий; внедрение систем оборотного водоснабжения;
- очистка сточных вод (промышленных, коммунально-бытовых и др.);
- закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты;
- очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей.

Главный загрязнитель поверхностных вод — сточные воды, поэтому разработка и внедрение *эффективных методов очистки сточных вод* представляется весьма актуальной и экологически важной задачей. Наиболее действенным способом защиты поверхностных вод от загрязнения их сточными водами является разработка и внедрение безводной и безотходной технологии производства, начальным этапом которой является создание *оборотного водоснабжения*.

При организации системы оборотного водоснабжения в нее включают ряд очистных сооружений и установок, что позволяет создать замкнутый цикл использования производственных и бытовых сточных вод. При таком способе водоподготовки сточные воды все время находятся в обороте и попадание их в поверхностные водоемы полностью исключено.

Ввиду огромного многообразия состава сточных вод они проходят механическую, физико-химическую, химическую, биологическую очистку и др. В зависимости от степени вредности и характера загрязнений очистка сточных вод может производиться каким-либо одним способом или комплексом методов (комбинированный способ). В процессе очистки предусматривают обработку осадка (или избыточной биомассы) и обеззараживание вод перед сбросом их в водоем.

При механической очистке из производственных сточных вод путем процеживания, отстаивания и фильтрования удаляются до 90% нерастворимых механических примесей различной степени дисперсности (песок, глинистые сточных частицы, окалина и др.), а из бытовых сточных вод — до 60%. Для этих целей применяют решетки, песколовки, песчаные фильтры, отстойники различных типов. Вещества, плавающие на поверхности сточных вод (нефть, смолы, масла, жиры, полимеры и др.), задерживают нефте- и маслословушками и другого вида уловителями либо выжигают. Определенная часть загрязняющих веществ из отстойника просачивается в нижележащие водоносные горизонты. По этим причинам подобную утилизацию вредных отходов производства нельзя считать экологически безопасной и следует рассматривать лишь как временную меру.

Химические и физико-химические методы очистки наиболее эффективны для очистки производственных сточных вод.

К основным *химическим способам относят*: нейтрализацию и окисление. В первом случае для нейтрализации кислот и щелочей в сточные воды вводят специальные реагенты (известь, кальцинированную соду, аммиак), во втором — различные окислители. С их помощью сточные воды освобождаются от токсичных и других компонентов.

При *физико-химической очистке* используются:

— коагуляция — введение в сточные воды коагулянтов (солей аммония, железа, меди, шламовых отходов и пр.) для образования хлопьевидных осадков, которые затем легко удаляются;

— сорбция — способность некоторых веществ (бентонитовые глины, активированный уголь, цеолиты, силикагель, торф и др.) поглощать загрязнение. Методом сорбции возможно извлечение из сточных вод ценных растворимых веществ и последующая их утилизация;

— флотация — пропуск через сточные воды воздуха. Газовые пузырьки захватывают при движении вверх поверхностно-активные вещества, нефть, масла, другие загрязнения и образуют на поверхности воды легко удаляемый пенообразный слой.

Для очистки коммунально-бытовых промстоков целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих, пищевых предприятий широко используют *биологический (биохимический)* метод. Метод основан на способности искусственно вселяемых микроорганизмов использовать для своего развития органические и некоторые неорганические со-

единения, содержащиеся в сточных водах (сероводород, аммиак, нитриты, сульфиды и т. д.). Очистку ведут с помощью естественных (поля орошения, поля фильтрации, биологические пруды и др.) и искусственных методов (аэротенки, метатенки, биофильтры, циркуляционные окислительные каналы).

После осветления сточных вод образуется осадок, который сбрасывают в железобетонных резервуарах (метантенках), а затем удаляют на иловые площадки для подсушивания. Подсушенный осадок обычно используется как удобрение. Однако в последние годы в сточных водах стали обнаруживаться многие вредные вещества (тяжелые металлы и др.), что исключает такой способ утилизации осадков.

Осветленная часть сточных вод очищается в аэротенках — специальных закрытых резервуарах, по которым медленно пропускают стоки, обогащенные кислородом и смешанные с активным илом. Активный ил представляет собой совокупность гетеротрофных микроорганизмов и мелких беспозвоночных животных (плесени, дрожжей, водных грибов, коловраток и др.), а также твердого субстрата. Важно правильно подбирать температуру, pH, добавки, условия перемешивания, окислитель (кислород), чтобы в максимальной степени способствовать интенсификации гидробиоценоза, составляющего активный ил.

После вторичного отстаивания сточные воды обеззараживают (дезинфицируют) с помощью соединений хлора или других сильных окислителей. При этом способе (хлорировании) уничтожаются патогенные бактерии, вирусы, болезнетворные микроорганизмы. В системах очистки сточных вод биологический (биохимический) метод является завершающим, и после его применения сточные воды можно использовать в оборотном водоснабжении либо сбрасывать в поверхностные водоемы.

В последние годы активно разрабатываются новые эффективные методы, способствующие экологизации процессов очистки сточных вод:

- электрохимические методы, основанные на процессах анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции и электрофлотации;

- мембранные процессы очистки (ультрафильтры, электродиализ и др.);

- магнитная обработка, позволяющая улучшить флотацию взвешенных частиц;

— радиационная очистка воды, позволяющая в кратчайшие сроки подвергнуть загрязняющие вещества окислению, коагуляции и разложению;

— озонирование, при котором в сточных водах не образуются веществ, отрицательно воздействующих на естественные биохимические процессы;

— внедрение новых селективных типов сорбентов для избирательного выделения полезных компонентов из сточных вод с целью вторичного использования и др.

Известно, что значительную роль в загрязнении водных объектов играют пестициды и удобрения, смываемые поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий. Для предотвращения попадания загрязняющих стоков в водоемы необходим комплекс мероприятий, включающих: 1) соблюдение норм и сроков внесения удобрений и ядохимикатов; 2) очаговую и ленточную обработку пестицидами вместо сплошной; 3) внесение удобрений в виде гранул и по возможности вместе с поливной водой; 4) замену ядохимикатов биологическими способами защиты растений и т. д.

Очень сложна утилизация животноводческих стоков, губительно действующих на водные экосистемы. В настоящее время наиболее экономичной признана технология, при которой вредные стоки разделяют с помощью центрифугирования на твердую и жидкую фракции. При этом твердая часть превращается в компост, и ее вывозят на поля. Жидкая часть (навозная жижа) концентрацией до 18% проходит через реактор и превращается в гумус. При разложении органики выделяются метан, двуокись углерода и сероводород. Энергию этого биогаза используют для производства тепла и энергии.

Одним из перспективных способов уменьшения загрязнения поверхностных вод является *закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты* через систему поглощающих скважин (подземное захоронение). При этом способе отпадает необходимость в дорогостоящей очистке и обезвреживании сточных вод и в сооружении очистных сооружений.

Однако, по мнению многих ведущих специалистов, данный метод целесообразен для изоляции лишь небольших количеств высокотоксичных сточных вод, не поддающихся очистке существующими технологиями. Эти опасения связаны с тем, что очень трудно оценить возможные экологические последствия усиленного заводнения даже хорошо изолированных глубокозалегающих горизонтов подземных

вод. К тому же технически очень сложно полностью исключить возможность проникновения удаляемых высокотоксичных промстоков на поверхность земли или в другие водоносные горизонты через трубные пространства скважин. И тем не менее в обозримом будущем такое решение экологических проблем неизбежно, как наименьшее зло (Дзюба, 1999).

Среди водоохраных проблем одной из важнейших является разработка и внедрение эффективных методов обеззараживания и очистки поверхностных вод, используемых для *питьевого водоснабжения*. Недостаточно очищенные питьевые воды опасны как с экологической, так и с социальной точек зрения.

Начиная с 1896 г. и до настоящего времени метод обеззараживания воды хлором является в нашей стране наиболее распространенным способом борьбы с бактериальным загрязнением. Однако оказалось, что хлорирование воды несет в себе серьезную опасность для здоровья людей. Исключить этот опасный для здоровья людей эффект и добиться снижения содержания канцерогенных веществ в питьевой воде возможно путем замены первичного хлорирования на озонирование или обработку ультрафиолетовыми лучами, а также и применением безреагентных методов предочистки на биологических реакторах.

Следует заметить, что обработка воды озоном или ультрафиолетовыми лучами практически полностью вытеснила хлорирование на станциях очистки воды во многих странах Западной Европы. В нашей стране применение этих экологически эффективных технологий ограничено из-за высокой стоимости переоборудования водоочистных станций.

Современная технология очистки питьевой воды от других экологических опасных веществ — нефтепродуктов, СПАВ, пестицидов, хлорорганических и других соединений основывается на использовании сорбционных процессов с применением активированных углей или их аналогов — графит-минеральных сорбентов.

Все большее значение в охране поверхностных вод от загрязнения и засорения приобретают *агролесомелиорация* и *гидротехнические мероприятия*. С их помощью можно предотвращать заиливание и зарастание озер, водохранилищ и малых рек, а также образование эрозии, оползней, обрушение берегов и т. д. Выполнение комплекса этих работ позволит уменьшить загрязненный поверхностный сток и будет способствовать чистоте водоемов. В этой связи огромное значение придается снижению процессов эвтрофикации водоемов, в частности водохранилищ таких гидротехнических каскадов, как Волго-Камский и др.

Важную защитную функцию на любом водном объекте выполняет *водоохранная зона* — территория, примыкающая к акватории рек, озер, водохранилищ и иных поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов животного и растительного мира. Ширина водоохранной зоны рек может составлять от 0,1 до 1,5–2,0 км, включая пойму реки, террасы и склок коренного берега. Назначение водоохранной зоны — предотвратить загрязнение, засорение и истощение водного объекта. В пределах водоохранных зон запрещается распашка земель, выпас скота, применение ядохимикатов и удобрений, производство строительных работ и др.

Размеры и границы ВЗ, а также режим их использования устанавливаются исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и прочих условий.

Поверхностная гидросфера органично связана с атмосферой, подземной гидросферой, литосферой и с другими компонентами окружающей природной среды. Учитывая неразрывную взаимосвязь всех ее экосистем, невозможно обеспечить чистоту поверхностных водоемов и водотоков без защиты от загрязнения атмосферы, почв, подземных вод и др.

Для защиты поверхностных вод от загрязнения в ряде случаев необходимо идти на радикальные меры: закрытие или перепрофилирование загрязняющих производств, полный перевод сточных вод на замкнутый цикл водопотребления и т. д.

Средства ликвидации разливов нефти в море. Ликвидация разлива нефти зависит от физических и химических изменений разлившейся на поверхности водоема нефти.

Физические и химические изменения нефти начинаются с момента попадания ее на поверхность воды и продолжаются в зависимости от типа разлившейся нефти и гидрометеорологических условий в течение пребывания нефти на воде.

Физико-химические изменения разлившейся нефти: испарение (25%); эмульгирование; растворение в воде (5%); биохимическое окисление (30%); выброс на берег (20%); потопление (15%) и фотохимическое окисление (5%).

1. Испарение — переход в атмосферу нефти с низкими температурами кипения. Скорость испарения зависит от концентрации компонента, толщины пленки нефти, скорости ветра и температуры. Про-

Процент компонентов, переходящих в атмосферу, связан с числом атомов углеродов в цепи. Все компоненты с числом атомов углерода до 13 испаряются в течение первых нескольких часов, а с числом атомов углерода до 20 — в течение нескольких суток.

После разлива большинства нефтей в течение нескольких дней испаряется около 25%, в течение нескольких недель до 40–50%. Светлые нефтепродукты могут терять от испарения до 75%, а мазут и моторное топливо — до 10%.

2. Испарение легких компонентов приводит к увеличению плотности и вязкости остающейся на поверхности воды нефти. В результате испарения плотность нефти может оказаться больше плотности воды, и нефть начнет тонуть. Испарению подвергаются алифатические углеводороды, наиболее токсические ароматические соединения не испаряются. Интенсивность испарения зависит от скорости ветра и температуры. При разливах бензина за 7–8 мин при $t = 20^\circ \text{C}$ может испариться до 50% первоначального объема. Испарение мазута и моторного топлива составляет 7–10% при 20°C . Испарение низкокипящих компонентов следует учитывать для принятия мер защиты от отравления персонала, защиты от взрывов.

3. Растворение — компоненты нефти с низким молекулярным весом переходят в объем воды. Скорость растворения зависит от ветра, состояния моря, плотности, вязкости, температуры замерзания, поверхностного натяжения, растворимости нефти. Процесс растворения длителен и оказывает влияние на обитателей моря. Растворению подвергаются компоненты нефти и продукты их окисления. Наибольшая растворимость у ароматических составляющих. Толщина нефтяного пятна первоначально не оказывает влияния на скорость растворения, но через несколько дней из-за накопления в нефтяном слое окисленных продуктов скорость растворения будет зависеть от толщины слоя нефтепродуктов. Потери сырой нефти, связанные с растворением, составляют 5–7% общей массы разлитой нефти.

4. Эмульгирование — переход нефти в виде мелких капель в воду, является основной причиной рассеивания нефтяной пленки в объеме воды. За 12 часов при волнении свыше 5 баллов эмульгирует до 15% нефти. Процессу эмульгирования наиболее подвержены маловязкие нефти и светлые очищенные нефтепродукты (бензин, керосин, дизельное топливо).

Большая часть распределенной в воде нефти находится в виде эмульсии типа «нефть в воде» (прямая эмульсия). При разливах неф-

ти образуется эмульсия типа «вода в нефти» — обратная эмульсия. Для образования эмульсии необходимо естественное взбалтывание и наличие эмульгаторов. Природные эмульгаторы содержатся в самой нефти и в морской воде.

Образование прямой эмульсии может привести к исчезновению нефти с поверхности воды. При уменьшении волнения нефтяное пятно может восстанавливаться, нефть при этом всплывает на поверхность воды.

Образование прямой эмульсии связано с распределением мелких капель нефти (0,001–0,003 мм) в массе воды, что способствует биологическому разложению нефти.

Эмульсия обратного типа (вода в нефти) — стойкая, может сохраняться в течение нескольких месяцев. Она образуется при смешивании воды с относительно вязкой нефтью. Такая эмульсия содержит от 50 до 80% свободной воды. По внешнему виду такая эмульсия выглядит как чистая нефть с темно-бурой окраской. Иногда обратная эмульсия имеет светло-коричневую окраску — «шоколадный мусс». Характерной особенностью обратной эмульсии является высокая вязкость, высокая температура застывания и плотность. Это учитывают при ликвидации разливов нефти.

5. Разложение нефти со временем становится преобладающим, часть нефти переводится в органические соединения, которые превращаются в CO_2 и H_2O . Оставшаяся часть углеводородов образует твердый окисленный продукт. Основные реакции разложения — биохимическое и фотохимическое окисление.

Биохимическое окисление — кислородом воздуха и водой под действием бактерий и грибов.

Окисление под действием кислорода активно происходит на поверхности воды совместно с фотоокислением. В результате этих процессов образуются растворимые в воде продукты и смолистые вещества, не поддающиеся в дальнейшем никаким изменениям. При переходе нефти в глубь воды скорость разложения замедляется, при попадании в донные отложения разложение полностью прекращается. Попавшая в море нефть может существовать длительное время.

6. Биоразложение нефти происходит под влиянием микроорганизмов. В океане было найдено 200 видов бактерий, дрожжей и плесневых грибов, способных окислять соединения нефти. Все классы соединений, присутствующие в нефти, подвержены биоразложению. В каждой группе углеводородов продукты с большей молекулярной

массой окисляются медленнее. Наиболее быстро всеми видами бактерий окисляются нормальные легкие углеводороды (бензин, керосин). Соединения, содержащие более 20 атомов углерода разлагаются медленнее.

Скорость разложения определяется температурой воды и наличием питательных веществ. При температуре воды ниже 4°C разложение нефти практически не происходит. В нормальных условиях при $t=15^{\circ}\text{C}$ скорость разложения не превышает 1–10 мг/м³ сутки.

Бактериальному разложению в течение года подвергается 50% первоначального количества кувейтской сырой нефти, 70% венесуэльской, 30% арабской. Для полного разложения 1 кг нефти требуется 3,3 кг O₂, содержащегося в 400 м³ морской воды, а концентрация нефти в воде не должна превышать 2,5 мл/л. Для полной минерализации 1 т нефти требуется 500 суток и кислород, содержащийся в 400 тыс. м³ морской воды при скорости разложения 5 мг/м³ сутки.

7. Процесс фотохимического окисления происходит в результате совместного действия солнечного света и кислорода. Скорость фотохимического окисления не превышает 50% скорости биоразложения. При отсутствии света окисление протекает очень медленно. Интенсивность света резко снижается с глубиной, поэтому окисление идет в основном на поверхности моря. В отличие от биоразложения фотохимическое окисление не ведет к полной минерализации нефти, оно ведет к полимеризации нефти и образованию смоляных шариков, которые встречаются на пляжах и побережье. Их размеры колеблются от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Считается, что до 35% разлитой нефти превращается в смоляные шарики, образование их заканчивается в течение 100 дней после разлива.

При нефтяных разливах она растекается на поверхности, принимая форму овала с соотношением осей 4:1 или 10:1, который вытягивается в полосы и распадается на отдельные пятна, толщина которых уменьшается от центра к периферии, — на это оказывают влияние ветра, течения, волнения.

Растекание нефти связано с действием сил тяжести, инерции, вязкости, сопротивления и поверхностного натяжения. В зависимости от того, какие из этих сил преобладают, различают 3 режима растекания: инерционный, вязкостный, обусловленный поверхностным натяжением (рис. 3.2).

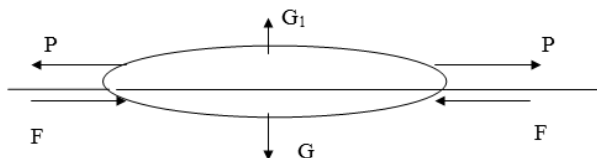


Рисунок 3.2. Силы, действующие на растекание нефти.

G — гравитационная сила; G_1 — сила поддержания (разность плотностей воды и нефти); P — горизонтальные силы (текучесть нефти); F — сила поверхностного натяжения.

Сила тяжести заставляет нефть растекаться равномерно по всем направлениям. Толщина пленки уменьшается, силы тяжести и инерции падают, преобладает вязкостный режим растекания, связанный с силами поверхностного натяжения, размеры некоторых определяются наличием в нефти природных поверхностно-активных веществ.

Для ликвидации нефтяного пятна надо знать место его нахождения, куда перемещается, в каком состоянии проводится авиационное обследование.

Боновые заграждения — технические средства, которые используются в операциях по ликвидации разливов нефти. Боновые заграждения состоят из: элемента, обеспечивающего плавучесть бона; надводной части, препятствующей перехлестыванию нефтяной пленки через заграждение; подводной части, препятствующей уносу нефти под заграждением; груз-балласта, обеспечивающего вертикальное положение бона, соединительных узлов, обеспечивающих сборку заграждения из отдельных секций.

Механические способы сбора разлитой нефти. Сложность процесса отделения нефти от массы морской воды связано со сравнительно небольшой толщиной ее слоя, значительной площадью пространства, постоянным движением моря и перемещением поверхностного слоя под воздействием ветров, течения и волнения.

Осложнения возникают при очистке от нефти акваторий портов, верфей СРЗ, которые часто загрязняются мусором, щепой, досками и образуют сбившиеся массы сколотины.

В зависимости от способа передвижения или крепления нефтесборные устройства делятся на: самоходные, устанавливаемые стационарно, буксируемые и переносные, устанавливаемые на различных плавсредствах (навесные).

I. Абсорбционный метод основан на свойстве некоторых губчатых и волокнистых материалов впитывать нефть (нефтефильность) и плохо впитывать воду (гидрофобность) — эластичные пенопласты на основе полиуретана, полипропиленовое волокно, текстильные, шерстяные, бумажные ленты, пропитанные специальными составами. Устройства абсорбционного типа бывают в виде непрерывной ленты, дискретных впитывающих элементов, «трос-швабры» (полипропиленового троса, в который вплетены пряди полипропиленовых волокон).

Проходя через слой нефтяных загрязнений абсорбирующий материал впитывает нефть и далее пропускается через валки которые ее отжимают. Нефть с незначительным обводнением стекает в сборник.

Преимущества — невысокая чувствительность к сорту нефти, незначительное количество собираемой совместно с нефтью воды, возможность сбора нефти на мелководье, в затонах, при наличии густых водорослей.

Недостатки — некоторые сложности установки и переналадки системы тросов, сравнительно быстрый износ абсорбирующего материала, ограниченные возможности сбора нефти по состоянию моря (при волне высотой до 1,5 м).

- Устройства адгезионного типа основаны на свойстве нефти налипать на некоторые материалы, которые не смачиваются или плохо смачиваются водой, — это алюминиевые сплавы и пластмассы. Плавающая нефть налипает на поверхность вращающегося полупогруженного барабана, набора дисков или бесконечной конвейерной ленты, извлекается из воды, а затем при помощи плотно прижатого скребка соскабливается в сборные емкости. Эффективность работы таких устройств определяется толщиной нефтяной пленки, налипающей на единицу длины барабана или ленты, и скоростью их вращения. Достигается малая обводненность собираемой нефти или нефтепродукта, благодаря чему не требуются отстойные емкости и сепараторы.

- Барабанные (роторные) снаряды компактны по конструкции. Нефтесборщики такого типа используют только в условиях работы на относительно спокойной воде (в затонах, отстойных бассейнах), незначительные колебания уровня загрязненного слоя отражаются на эффективности работы приемного органа.

Недостаток — резкое снижение производительности при сборе как маловязких нефтей (дизельного топлива, легких сырых нефтей),

так и высоковязких, особенно эмульсий типа «вода в нефти» и тонких пленок.

- Пороговые устройства основаны на явлении перетекания поверхностного слоя воды определенной толщины в сборную или сборно-отстойную емкость за счет понижения уровня в этой емкости по отношению к уровню окружающей воды. Понижение уровня достигается путем откачивания различными способами нижнего слоя воды из сборной емкости.

Преимущества — простота и эксплуатационная надежность, отсутствуют ограничения по виду и консистенции плавающих загрязнений, может быть достигнута незасоряемость нефтеприемного тракта, устройства соморегулируемые и работают при волнении моря, наличие перепада между уровнем окружающей воды и уровнем в сборной емкости позволяет накапливать слой нефти значительной толщины.

Эти устройства способны создавать эффект подтекания спокойного поверхностного слоя воды к порогу, обеспечивая подтягивание плавающей пленки нефти со значительных расстояний.

- Эффект центробежных сил используют для образования вихревой воронки с помощью импеллера и направленных струй воды под давлением (гидроциклон).

Центробежные силы используются для разделения двух несмешивающихся жидкостей с различными плотностями. Динамика разделения несмешивающихся жидкостей, находящихся в состоянии циркуляции, подчиняется функциональным зависимостям, определенным квадратом угловой скорости частей жидкости. Чем выше частота вращения потока, тем эффективнее разделение; устройства вихревого типа при равной производительности имеют меньшие габаритные размеры, чем устройства, основанные на принципе гравитационного отстоя.

Преимущество — сравнительно устойчивый процесс сбора нефти при колебаниях уровня воды (волнении), подтягивание поверхностной пленки нефти к нефтесборному органу с некоторого расстояния.

Недостатки — чувствительность к засорению мусором, малая ширина захвата. Невозможность совместной работы с боновыми заграждениями, т.к. минимальная скорость их перемещения превышает критическую скорость буксировки бонов.

3.2.4. Охрана литосферы

Защита почв от прогрессирующей деградации и необоснованных потерь — наиболее острая экологическая проблема в земледелии, которая еще далека от своего решения.

В число основных звеньев экологической защиты почв входят:

- защита почв от водной и ветровой эрозии;
- организация севооборотов и системы обработки почв с целью повышения их плодородия;
- мелиоративные мероприятия (борьба с заболачиванием, засолением почв и др.);
- рекультивация нарушенного почвенного покрова;
- защита почв от загрязнения, а полезной флоры и фауны — от уничтожения;
- предотвращение необоснованного изъятия земель из сельскохозяйственного оборота. Защита почв должна осуществляться на основе комплексного подхода к сельскохозяйственным угодьям как сложным природным образованиям (экосистемам) с обязательным учетом региональных особенностей.

Для борьбы с эрозией почв необходим комплекс мер: землеустроительных (распределение угодий по степени их устойчивости к эрозионным процессам), агротехнических (почвозащитные севообороты, контурная система выращивания сельскохозяйственных культур, при которой задерживается сток, химические средства борьбы и т. д.), лесомелиоративных (полезащитные и водорегулирующие лесные полосы, лесные насаждения на оврагах, балках и т. д.) и гидротехнических (каскадные пруды и т. д.).

При этом учитывают, что гидротехнические мероприятия останавливают развитие эрозии на определенном участке сразу же после их устройства, агротехнические — через несколько лет, а лесомелиоративные — через 10–20 лет после их внедрения.

Для почв, подверженных сильной эрозии, необходим весь комплекс противоэрозионных мер: полосное земледелие, т. е. такая организация территории, при которой прямолинейные контуры полей чередуются с полезащитными лесными полосами, почвозащитные севообороты (для защиты почв от дефляции), облесение оврагов, бесплужные системы обработки почв (применение культиваторов, плоскорезов и т. п.), различные гидротехнические мероприятия (устройство каналов, валов, канав, террас, сооружение водотоков, лотков и др.) и другие меры.

Великий русский ученый-естествоиспытатель, основоположник почвоведения, В. В. Докучаев (1846–1903) впервые разработал учение о взаимодействии всех элементов природы (рельефа, климата, почв и т. д.) и на этой основе обосновал выбор оптимальных соотношений сельскохозяйственных угодий, севооборотов и их рационального территориального размещения.

Впечатляющий пример успешной борьбы с эрозией почв — Каменная степь в Воронежской области, которую по праву называют докучаевским бастионом. Известно, какое огромное количество оврагов в этой области. По данным А. И. Тульчинского (1990), в Каменной степи на площади более 12 000 га за последние 50 лет не было ни одного оврага. В 1946 г. в результате жестокой засухи сильно пострадали Поволжье, Северный Кавказ, Украина, хозяйства окрест не собрали семян, а поля Каменной степи дали почти стопудовый урожай. Все дело в правильном соотношении между водой и лесом, лугами и другими сельскохозяйственными угодьями.

Для *борьбы с заболачиванием почв* в районах достаточного или избыточного увлажнения в результате нарушения природного водного режима применяют различные осушительные мелиорации. В зависимости от причин заболачивания это может быть понижение уровня грунтовых вод с помощью закрытого дренажа, открытых каналов или водозаборных сооружений, строительство дамб, спрямление русла реки для защиты от затопления, перехват и сброс атмосферных склоновых вод и др. Однако чрезмерное осушение больших площадей может вызвать нежелательные изменения в экосистемах — переосушку почв, их дегумификацию и декарбонизирование (приставка «де» означает устранение чего-либо), а также вызвать обмеление малых рек, высыхание лесов и т. д.

Для *предупреждения вторичного засоления почв* необходимо устраивать дренаж, регулировать подачу воды, применять полив дождеванием, использовать капельное и прикорневое орошение, выполнять работы по гидроизоляции оросительных каналов и т. д.

К сожалению, все эти методы и технические новинки для предупреждения вторичного засоления почв применяются лишь на небольшой части орошаемых территорий. Причины везде одинаковы: 1) высокая стоимость и трудоемкость мелиоративных работ; например, дренажные работы и гидроизоляция каналов почти вдвое удорожают строительство оросительных систем; 2) надежда на то, что «неблагоприятные последствия орошения скажутся когда-то в будущем,

когда будет больше средств. Но результат всегда и везде был один и тот же: катастрофически быстрый подъем грунтовых вод, вторичное засоление, падение урожаев, потери капиталовложений, в конечном итоге испорченные земли». Именно таким путем происходит формирование многих зон повышенного экологического риска как у нас в стране, так и за рубежом.

Для предотвращения загрязнения почв пестицидами и другими вредными веществами используют экологические методы защиты растений (биологические, агротехнические и др.), повышают природную способность почв к самоочищению, не применяют особо опасные и стойкие инсектицидные препараты в др.

Например, широко используется разведение и выпуск в агроэкосистемы насекомых-хищников; божьей коровки, жужелицы, муравьев и др. (биологическая защита), внедрение в природные популяции видов или особей, не способных давать потомство (генетический метод защиты), оптимизация размеров отдельных полей для подавления нежелательных видов (агротехнический метод) и т. д.

В США и в ряде стран Западной Европы организована система биологического земледелия, при которой полностью исключено применение пестицидов и минеральных удобрений и где получают экологически чистые продукты. Только в США в 1987 г. таких ферм насчитывалось более 30 тысяч. В ряде районов нашей страны (Краснодарский край, Омская область и др.) также появляются очаги беспестицидного земледелия. Интенсивно ведутся работы по созданию пестицидных препаратов на основе природных ингредиентов (смесь зеленого перца с чесноком и табаком, пудра из ромашки, настои из багульника, живокости, софоры, лука и др).

Изъятие пахотных земель для капитального строительства и других целей может быть допущено лишь в исключительных случаях в соответствии с действующим законодательством. Для сохранения продуктивности земель необходимо вводить научно обоснованные нормы земельных площадей, расширять использование для строительства условно непригодных для сельского хозяйства земель, прокладывать коммуникации под землей, повышать этажность застройки городов и населенных пунктов и т. д.

При проведении строительных и иных работ, связанных с механическим нарушением почвенного покрова, предусматривается снятие, сохранение и нанесение почвенного плодородного слоя на нарушенные земли. Снятие почвенного слоя осуществляется в соответст-

вии с ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ». Для разных типов почв толщина плодородного слоя колеблется от 0,2 (дерново-подзолистые) до 1,2 м (черноземы). Плодородный слой вывозится и складировается в специальных временных отвалах (буртах). Нанесение почвенного плодородного слоя на нарушенные земли производят не позднее одного года с момента окончания земляных работ.

Почва, как и вся земля в целом, охраняется законом. Землепользователи обязаны эффективно и рационально использовать земельные богатства, повышать плодородие земельных угодий, не допускать порчу, загрязнение, засорение и истощение земель.

3.3. Экологический мониторинг

Под мониторингом (от лат. «монитор» — напоминающий, надзирающий) понимают систему наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды. Основной принцип мониторинга — *непрерывное слежение*. Мониторинг является важнейшей частью экологического контроля, которое осуществляет государство. Главная цель мониторинга — наблюдение за состоянием окружающей природной среды и уровнем ее загрязнения. Не менее важно своевременно оценить и последствия антропогенного воздействия на биоту, экосистемы на здоровье человека, а также эффективность природоохранных мероприятий. Но мониторинг — это не только слежение и оценка фактов, но и экспериментальное моделирование, прогноз и рекомендации по управлению состоянием окружающей природной среды.

По территориальному охвату различают три ступени или блока современного мониторинга — локальный (биоэкологический, санитарно-гигиенический), региональный (геосистемный, природно-хозяйственный, и глобальный (биосферный, фоновый). В программу *биоэкологического (санитарно-гигиенического) мониторинга*, проводимого на *локальном уровне*, входят наблюдения за изменением в различных сферах содержания загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными и иными неблагоприятными свойствами. Постоянным наблюдениям подвергаются следующие загрязняющие вещества, наиболее опасные для природных экосистем и человека:

- в поверхностных водах — радионуклиды, тяжелые металлы, пестициды, бенз(а)пирен, рН, минерализация, азот, нефтепродукты, фенолы, фосфор;

- в атмосферном воздухе — оксиды углерода, азота, диоксид серы, озон, пыль, аэрозоли, тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, бенз(а)пирен, азот, фосфор, углеводороды;

- в биоте — тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, бенз(а)пирен, азот, фосфор.

Тщательно исследуют и такие вредные физические воздействия, как радиация, шум, вибрация, электромагнитные поля и др.

Пункты экологических наблюдений располагают в местах концентрации населения и районах интенсивной его деятельности с таким расчетом, чтобы они контролировали основные линии связи человека (трофические и др.) с естественными и искусственными компонентами окружающей среды. Это могут быть территории промышленно-энергетических центров, атомных электростанций, нефтепромыслов, агроэкосистем с интенсивным применением ядохимикатов и др.

В составе биоэкологического (санитарно-гигиенического) мониторинга большое внимание уделяют наблюдениям за ростом врожденных дефектов в популяциях человека и динамикой генетических последствий загрязнения биосферы, в первую очередь мутагенами. Экологическую опасность их трудно переоценить, ибо, как подчеркивают Д. П. Никитин и Ю. В. Новиков (1980), «мутагены поражают самое драгоценное, что создано эволюцией живой материи, — генетическую программу человека, а также генофонды популяций всех видов животных, растений, бактерий и вирусов, населяющих биосферу».

На региональном (геосистемном) уровне наблюдения ведут за состоянием экосистем крупных природно-территориальных комплексов (бассейнов рек, лесных экосистем, агроэкосистем и т. д.), где имеются отличия параметров от базового фона ввиду антропогенных воздействий. Изучают трофические связи (биологические круговороты) и их нарушения, оценивают возможность использования ресурсов природных экосистем в конкретных видах деятельности, анализируют характер и количественные показатели антропогенных воздействий на окружающую природную среду в этих регионах. Например, ведут контроль за популяционным состоянием исчезающих видов животных в пределах какого-либо региона и т. д.

Обеспечить наблюдение, контроль и прогноз возможных изменений в биосфере в целом — задача *глобального мониторинга*. Его называют еще фоновым или биосферным. Объектами глобального мониторинга являются атмосфера, гидросфера, растительный и животный мир и биосфера в целом как среда жизни всего человечества. Разработка и координация глобального мониторинга окружающей природной среды осуществляется в рамках ЮНЕП (орган ООН) и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Основными целями этой программы являются:

- организация расширенной системы предупреждения об угрозе здоровью человека;
- оценка влияния глобального загрязнения атмосферы на климат;
- оценка количества и распределения загрязнений в биологических системах, особенно в пищевых цепочках;
- оценка критических проблем, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности и землепользования;
- оценка реакции наземных экосистем на воздействие окружающей среды;
- оценка загрязнения океана и влияния загрязнения на морские экосистемы;
- создание системы предупреждений о стихийных бедствиях в международном масштабе.

При выполнении работ по программе глобального мониторинга особое внимание уделяют наблюдениям за состоянием природной среды из космоса. *Космический мониторинг* позволяет получить уникальную информацию о функционировании экосистем как на региональном, так и на глобальном уровнях. В сравнении с другими видами мониторинга космический имеет ряд практически значимых преимуществ. По данным Г. И. Марчука (1990), с его помощью возможно, в частности, оперативно получать информацию о природной среде с больших территорий Земли, что особенно важно при возникновении ураганов, наводнений и других стихийных бедствий. Чрезвычайно важным является создание системы космического мониторинга лесных пожаров для малозаселенных странств.

В России функционирует разветвленная общегосударственная служба наблюдения по всем ступеням мониторинга — локальному,

региональному и глобальному. Обобщая результаты наблюдения на всех трех уровнях мониторинга, получают объективную картину антропогенных и природных процессов в различных регионах страны. С этой целью на многочисленных станциях, створах контроля, стационарных постах, в химических лабораториях, на самолетах, вертолетах и космических аппаратах наблюдают за загрязнением атмосферы, вод, почв, донных отложений, околоземного пространства, организуют слежение за состоянием земель, минерально-сырьевых ресурсов недр, сохранностью животного и растительного мира и т. д.

Основной объем наблюдений выполняют службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Роскомгидромет). С 1995 г. в России с целью радикального повышения эффективности службы наблюдения введена Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ) (табл. 3.2). Основными её задачами является: проведение наблюдений за изменением состояния окружающей среды и экосистемами, источниками антропогенных воздействий; проведение оценок состояния окружающей среды, прогноз состояния окружающей среды, экологической обстановки на территории России и ее регионов и др.

Задачи по программированию изменений в окружающей среде и принятию *управляющих решений*, т. е. решений, предотвращающих негативные изменения среды, в системе мониторинга решают с помощью математического моделирования на ЭВМ. Используется динамическая постоянно действующая модель (ПДМ), входящая в автоматизированную информационную систему (АИС) мониторинга.

Особенность ПДМ — циклическое функционирование: по мере поступления новых данных в АИС они загружаются в ПДМ, и на модели проигрывается вариант развития моделируемой системы, затем при исходных данных цикл повторяется уже с учетом предыдущего варианта развития и т. д. Отсюда следует очень важное свойство ПДМ: чем дольше функционирует система мониторинга, тем полнее информация и тем ближе модель к моделируемому объекту.

Таблица 3.2

Система наземного мониторинга окружающей среды

| Ступени мониторинга | Объекты мониторинга | Характеризуемые показатели |
|---|--|---|
| Локальный (санитарно-гигиенический, биоэкологический) | Приземной слой воздуха | ПДК токсических веществ |
| | Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы | Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.) |
| | Радиоактивные излучения | Предельная степень радионизлучения |
| Региональный (геосистемный, природно-хозяйственный) | Исчезающие виды животных и растений | Популяционное состояние видов |
| | Природные экосистемы | Их структура и нарушения |
| | Агроэкосистемы | Урожайность сельскохозяйственных культур |
| | Лесные экосистемы | Продуктивность насаждений |
| Глобальный (биосферный, фоновый) | Атмосфера | Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление |
| | Гидросфера | Загрязнение рек и водоемов; водные бассейны, круговорот воды на континентах |
| | Растительные и почвенный покровы, животное население | Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные круговороты и баланс CO ₂ , O ₂ и других веществ |

3.4. Экологические аспекты здоровья

3.4.1. Экологическая медицина, экопатология

Всеобщий экологический кризис, который начался в конце XX века, обусловлен такими глобальными процессами, как загрязнение окружающей среды, истощение озонового слоя, кислотные дожди, радиоактивные выпадения. Резко изменились и локальные условия обитания человека. Урбанизация среды, загрязнение всех сред: воздуха, воды, почвы, продуктов питания, воздействие электромагнитных излучений и шума, ограничение и видоизменение связей человека с природой — все это отрицательно влияет на здоровье человека.

Понятие «здоровье» — достаточно сложное; оно может рассматриваться в разных аспектах: медицинских, социально-экономических, юридических, философских. Количественные параметры утраты здоровья выражаются в показателях заболеваемости, рождаемости, смертности, продолжительности жизни, физического развития, инвалидности и др.

В настоящее время человечество уже не может развиваться без экологической ориентации всей медико-биологической науки. Актуальность и необходимость экологического подхода подтверждается выявленными зависимостями между здоровьем человека и состоянием биосферы, особенно ее техногенным загрязнением. Причины возникновения многих заболеваний связывают с ухудшением «экологии». XX век ознаменовался во всех странах появлением своего рода пандемий хронических неинфекционных заболеваний, несущих угрозу здоровью современного человека. Причиной их являются факторы современной цивилизации, психо-эмоциональные стрессы, нарушения питания вследствие загрязненности и причин социального характера, техногенных воздействий, информационных нагрузок, нарушения естественных биоритмов и т.п. Это принято называть сегодня «болезнями цивилизации».

«Болезни цивилизации» имеют безусловное доминирующее значение в структуре современных процессов разрушения здоровья людей. К ним относят почти все неинфекционные заболевания: сердечно-сосудистые заболевания, иммунопатии, опухолевые процессы, психические болезни, болезни обмена веществ, а также болезни, имеющие меньшее значение в разрушении здоровья человечества, такие как язвенная болезнь, хронические заболевания органов дыхания и пищеварения, экземы и нейродермиты, парадонтоз, остеохондроз, анемии, неврозы, бесплодие и ряд других.

Одними из самых коварных заболеваний являются опухоли; причины их возникновения окончательно не ясны, но многие специалисты связывают их с ухудшением экологической обстановки и химическим загрязнением окружающей среды канцерогенами. По данным ВОЗ, ежегодный прирост больных раком на земном шаре составляет 7 000 000 человек.

Средняя продолжительность жизни в РФ менее 65 лет, тогда как в развитых странах люди живут в среднем до 76 лет (европейцы и американцы живут до 77 лет, японцы до 79–82 лет). По средней продолжительности жизни Россия занимает 47–48 место в мире. Резкое снижение этого показателя произошло именно в последнее время. В середине 60-х гг. россияне жили столько же, сколько французы, немцы, англичане и американцы. В 1987 г. средняя продолжительность жизни была 70 лет, а в 1994 г. упала до 64. При этом у мужчин отмечено наибольшее падение: с 65 до 58 лет, у женщин — с 75 до 71 года. В сельской местности мужчины в среднем не доживают и до 55 лет. По показателю детской смертности Россия намного «опережает» развитые страны: на 1000 новорожденных в России приходится 22 смертных случая, тогда как в США, например, 5,5. Практически здоровых детей у нас очень мало — всего 14%. Большинство специалистов считают, что удручающая ситуация со здоровьем россиян в значительной степени связана с экологической обстановкой.

В конце XX века появились самостоятельные области знания — экология человека и экологическая медицина. Это междисциплинарные науки, в которых экологический фактор рассматривается как главный фактор возникновения заболеваний (этиогенный фактор). До недавнего времени экологические проблемы жизнедеятельности и заболеваемости рассматривались преимущественно с позиций влияния климато-географических условий жизни населения. Выделена и признана самостоятельным разделом медицинской науки экологическая патология (экопатология), которая рассматривает особенности и механизмы поражения организма, обусловленные влиянием комплекса антропогенных факторов среды, взаимодействие экзогенных и эндогенных причин заболеваний (обусловленных или не обусловленных экологическими причинами).

Экологический подход в медицине хорошо согласуется с идеями специалистов о тесной связи человека с окружающей средой. В отношениях человека с окружающей средой есть определенный парадокс. С одной стороны, человек — это творение природы, с дру-

гой, — окружающий человека мир в значительной степени создан самим человеком — его руками и разумом. Но именно вмешательство человека в окружающую природную среду в конечном счете привело к ухудшению его здоровья как биологического вида — компонента природных экосистем. Отсюда вытекает и сравнительно новая задача медицины — защита человека от воздействия неблагоприятной окружающей среды.

В настоящее время сложились предпосылки для понимания того, что судьба биосферы будет зависеть от приоритетов человеческих ценностей. Развитие техногенных изменений биосферы сейчас значительно опережает адаптационные возможности человеческого организма. Наиболее существенные изменения происходят в атмосферном воздухе — основной среде жизни человека.

3.4.2. Опасность загрязнения окружающей среды

Вредные влияния химических факторов на организм можно условно разделить на несколько групп по их эффектам. Это токсины (ядовитые вещества), канцерогены (вызывающие онкологические заболевания), мутагены (вызывающие мутации), тератогены (вызывающие уродства). Соответственно вещества, вызывающие такого рода эффекты, называют токсинами (токсикантами), канцерогенами, мутагенами, тератогенами.

Серьезную опасность представляет для человека токсическое загрязнение. Опасны для здоровья тяжелые металлы, хлорированные углеводороды, нитраты, нитриты и нитросоединения, асбест, диоксины, пестициды (табл. 3.3). Так, например, по данным украинских специалистов, вред от загрязнения тяжелыми металлами и другими токсичными загрязнителями металлургической промышленности в городах Мариуполе и Запорожье на порядок больше, чем вред от радиоактивного загрязнения в районах, подвергшихся воздействию чернобыльской аварии.

Таблица 3.3

Последствия неорганических загрязнителей

| Неорганический загрязнитель | Последствия |
|-----------------------------|--|
| Мышьяк | Рак, болезни печени, почек, крови, нервной системы |
| Кадмий | Болезни почек, анемия, болезни легких, высокое кровяное давление, внутриутробное повреждение, рак, болезнь «Итай-Итай», атеросклероз |

| | |
|----------|---|
| Свинец | Головные боли, анемия, нервные расстройства, врожденные дефекты, рак, умственная отсталость, неспособность к занятиям, частичная потеря слуха у детей |
| Ртуть | Повреждение нервной системы и почек; утомляемость, апатия, слабость, биологически усиливается в пищевых цепях. Болезнь <i>Минамата</i> (отравление через морепродукты). Накапливается в плактоне → рыба (тунец, акула, макрель, марлин). Чем больше рыба, тем больше в ней ртути. |
| Алюминий | Вызывает поражение мозга — болезнь <i>Альцгеймера</i> (прогрессирующая гибель нервных клеток, прежде всего в коре головного мозга, ответственной за сознание, интеллект и способность к мышлению и анализу, которые и отличают человека от животного или растения. В среднем после диагностирования болезни человек живет около 7 лет, и только 3% преодолевают 15-летний рубеж). |
| Нитраты | Респираторные осложнения и возможная смерть у детей в младенчестве или еще не родившихся детей; возможно формирование канцерогенных нитрозаминов (5% всех видов рака). Накапливаются в продуктах и воде при избыточном содержании в почве азотных удобрений. |
| Фосфаты | Повышенное содержание в пищевых продуктах (сыр, колбасные изделия, рыба) способствует возникновению рака легких. |

Одним из самых распространенных и опасных химических веществ, обладающих сильным канцерогенным действием, является бензпирен. В городах, где его концентрация превышает ПДК в воздухе в 2–4 раза, частота заболеваний раком на 12–24% выше, чем в городах, где концентрация менее 2 ПДК.

Основными путями проникновения химических загрязнений окружающей среды в организм человека являются дыхательные пути и желудочно-кишечный тракт. Другими словами, главные опасения за здоровье связаны с ухудшением состава воздуха, которым мы дышим, и сомнительным качеством питьевой воды и продуктов питания.

Более половины известных к этому времени опасных химических веществ поступает в организм через органы дыхания. Первый удар приходится на дыхательную систему, т. е. верхние дыхательные

пути и легкие, которые фактически не имеют «химической защиты» от вредного воздействия веществ, присутствующих во вдыхаемом воздухе. Если учесть, что человек вдыхает за сутки примерно 2000 л воздуха, то опасность загрязняющих веществ, поступающих в организм этим путем, становится совершенно очевидной.

Следует отметить, то за последние годы существенно возросла заболеваемость населения бронхитом, бронхиальной астмой и редкими прежде формами патологии: альвеолитами, гранулематозами, интерстициальными фиброзами. Часто встречаются онкологические заболевания органов дыхания; у мужчин они вышли на первое место по распространенности среди других форм онкозаболеваний.

Загрязняющие вещества, попадающие в организм человека, поступают с кровотоком в печень, где и происходит их превращение в неопасные продукты, выводимые затем из организма через выделительную систему. Печень представляет собой сформировавшуюся в ходе эволюции «лабораторию», оснащенную ферментными системами, которые и выполняют всю эту работу. Но некоторые вещества, появившиеся в окружающей среде сравнительно недавно, печень не в состоянии переработать, так как ферментные системы, которые способны это сделать, эволюционно не были сформированы и отсутствуют. Такие вещества называют ксенобиотиками, т. е. «чужими» для живого.

Другие вещества, хотя и трансформируются в ходе метаболизма, превращаются в промежуточные продукты, еще более опасные и токсичные, чем первоначально поступившие в организм. Так, например, значительная часть известных химических канцерогенов становятся таковыми только после активации их в организме ферментами — монооксигеназами. К ним относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), некоторые амины и амиды (например, нитрозамин), смолистые продукты табачного дыма и т. д. Известно уже более 250 химических веществ, метаболиты которых, изменяя структуру ДНК, вызывают мутации и приводят к злокачественному росту.

Химические вещества и их метаболиты могут вызывать аллергические заболевания, как сами непосредственно, так и вследствие взаимодействий с белками организма. Совсем недавно, четверть века назад, аллергические заболевания считали проявлением индивидуальных особенностей иммунологической чувствительности организма. Изучение химических аллергенов в корне изменило эти представления. Оказалось, что сенсибилизирующее действие аллергенов, как

и любых других воздействий на организм, зависит от дозы и времени воздействия.

Все большую озабоченность общества вызывают влияния загрязняющих веществ на детородную функцию и здоровье потомства. Отрицательные эффекты на здоровье матери и младенца оказывают загрязняющие вещества различной химической природы, такие как ПАУ, тяжелые металлы ХОС и пестициды. Известный экологический закон трофических цепей действует и здесь. Загрязнения, присутствующие в пищевых продуктах, попадают в организм матери и накапливаются в молоке, что становится опасным уже для младенца.

К числу недостаточно изученных факторов негативного воздействия относят также загрязнение неионизирующими электромагнитными излучениями. В РФ за последнее десятилетие существенно (в 20–30 раз по сравнению с фоном!) возросла интенсивность неионизирующих электромагнитных излучений, особенно вблизи линий электропередач, радио- и телевизионных станций, средств радиолокации. ВОЗ включила электромагнитное излучение в число важнейших экологических проблем в связи с тем, что они могут быть фактором риска онкологических заболеваний. В России создан Центр электромагнитной безопасности. Сравнительно новой областью является анализ воздействия на здоровье ракетно-космической техники.

Опасность загрязнения связана и с тем, что далеко не все воздействия удастся регламентировать. Даже санитарно-гигиенические нормативы разработаны не для всех загрязняющих веществ, а только для незначительной их части. Полностью оценены менее 5% из приблизительно 70 000 применяемых сегодня химических веществ (ежегодно вводится в оборот не менее 1000 наименований химикатов). Слабо изучены долговременные последствия влияния загрязняющих веществ.

Большинство специалистов считают загрязненность окружающей среды реальной угрозой для здоровья населения и фактором риска. Согласно статистическим данным, загрязненностью воздуха обусловлены 41% заболеваний органов дыхания, 16 — эндокринной системы, 2,5 — онкологических заболеваний у лиц в возрасте 30–34 года и 11% — у лиц 55–59 лет.

Использование питьевой воды при существующем уровне ее загрязнения является, по мнению специалистов Госсанэпиднадзора, одной из основных причин заболеваний органов пищеварения и выделительной системы.

Медико-экологические показатели населения России заставляют бить тревогу. Санитарно-эпидемиологическая обстановка в РФ оценивается как неблагополучная. Считают, что, если не принять экстренных мер, неминуема общенациональная демографическая катастрофа.

Экологическое неблагополучие в наиболее населенных и промышленно развитых районах России обусловлено не только масштабами воздействий на окружающую среду, но и игнорированием возникающих экологических проблем и недостатком финансовых средств.

3.4.3. Загрязнение продуктов питания

Здоровье населения и сохранение генофонда в значительной степени определяется безопасностью продовольственного сырья и продуктов питания.

Сейчас жители многих развитых стран озабочены возможной опасностью употребления генно-инженерных, трансгенных продуктов питания. Больше всего такие продукты распространились в США. Обширные площади в США засеяны растениями с видоизмененными генами, в которые введены гены животных, рыб, насекомых. Например, в помидоры и клубнику были внесены гены рыб, обитающих в ледяных водах, что повысило морозоустойчивость растений. Оказалось, однако, что перекрестное опыление трансгенных растений с сорняками приводит к передаче таких же качеств и последним. Полученные стойкие к болезням сорта пшеницы также передают приобретенные качества сорнякам, что сильно затрудняет борьбу с ними.

Датские ученые пришли к выводу, что употребление в пищу трансгенных продуктов приводит к снижению иммунитета у людей. В Великобритании недавно возникла паника, так как, судя по предположениям, непонятно откуда взявшаяся эпидемия менингита у детей была спровоцирована генетической соей. В некоторых странах — Греции, Индии — противники генно-инженерных растений вытаптывают целые плантации. В Интернете есть сайт с призывами уничтожать трансгенные продукты.

Однако многие специалисты являются убежденными сторонниками таких продуктов и считают, что за ними будущее. Новые сорта растений обладают необычайно полезными свойствами, такими как устойчивость к болезням, вредителям, заморозкам. Удается получить сорта с заданными свойствами. Например, получена соя с повышенным содержанием кальция. Употребление такой сои дает возмож-

ность лечить нарушения кальциевого обмена, в частности остеопороз, который часто имеет место у людей пожилого возраста. В рекламах соевых продуктов часто рассказывается о необычайной молодости корейских женщин, которые питаются «левыми» продуктами.

Интересно, что религиозные деятели не возражают против использования генно-инженерных продуктов питания. В 1999 г. в пользу генно-инженерных пищевых продуктов высказались англиканская церковь и Папская Академия в Ватикане.

Тем не менее сегодня покупатели, особенно в Западной Европе, внимательно изучают этикетки на упаковках, следя за тем, чтобы на них отсутствовали буквы «ГО» (генетическая обработка). Некоторые компании стали скрывать содержание в своей продукции компонентов с видоизмененными генами, такими как масло из трансгенной сои, томатная паста из скрещенных со скорпионами гигантских томатов.

Стала ясной необходимость создания правового регулирования и нормирования генно-инженерной продукции. С 2001 г. маркировка трансгенных продуктов стала обязательной на мировом рынке.

Гораздо более явную опасность, чем опасность генетического загрязнения, представляет загрязнение продуктов питания традиционными загрязняющими веществами. Считается, что из ядов, регулярно попадающих в организм человека, около 70% поступает с пищей, 20 — из воздуха, 10% — с водой. В продуктах могут присутствовать пестициды, тяжелые металлы, синтетические моющие средства, нитраты, нитриты, радионуклиды, токсины микроорганизмов, лекарственные средства. Контроль пищевых продуктов в РФ осуществляется по 14 химическим ингредиентам, из которых наиболее опасными являются кадмий, ртуть, свинец.

Не менее опасно загрязнение тяжелыми металлами. Ртуть, кадмий, свинец и другие тяжелые металлы оказывают на человека и животных токсическое действие, взаимодействуя с белками, блокируя различные ферментные системы и нарушая физиологические функции организма. Они могут накапливаться в органах и тканях, особенно в костной ткани. Больше всего кадмия, одного из наиболее опасных загрязнителей, человек получает с растительной пищей.

В Японии вследствие загрязнения кадмием риса — основного продукта питания — наблюдалось не известное ранее заболевание, получившее название «Итай-Итай». Сначала у больных были сильные боли в нижних конечностях и пояснице, затем нарушалась функция почек, больные сильно худели, наблюдалась деформация скелета

и переломы костей. Всего заболело около 3000 человек, причем в основном болели женщины, особенно много рожавшие. Впоследствии это объяснили дефицитом кальция, который, как оказалось, активно замещается в костях кадмием. В США также были отмечены аналогичные случаи заболевания, причиной которых оказалось употребление в пищу горошка, загрязненного кадмием.

Другой металл, который вошел в историю медицины как причина заболевания, — ртуть. Первая массовая вспышка ртутного отравления была зафиксирована в 1956 г. в Японии в районе реки Минамата, откуда и получила свое название «болезнь Минамата». Начальные стадии болезни: расстройства речи, нарушение походки, снижение зрения и слуха. Многие заболевшие погибли. Заболевание наблюдалось также у домашних кошек. Причиной отравления послужил сброс загрязненных ртутью сточных вод химической фабрики по производству поливинилхлорида в реку Минамата, откуда затем загрязненные воды попали в море. Вследствие передачи по трофическим цепям концентрация ртути в рыбе достигла 20 мг/кг. Рыба стала легкой добычей для населения, так как вследствие отравления теряла подвижность. Еще одна вспышка болезни Минамата произошла в Японии в 1964–1965 гг в районе реки Агано. Заболели 130 человек, из которых 52 умерли. Концентрация ртути в тканях и органах умерших была выше обычной в 50–30 000 раз.

Весьма опасен для человека свинец. В современном мире основным источником свинца в продуктах питания, как и в окружающей среде вообще, является этилированный бензин (алкильные соединения свинца добавляют в бензин в качестве антидетонатора). Свинец попадает в организм человека по пищевым цепям при употреблении как растительной, так и животной пищи. Анализы показали, что у наших современников концентрация свинца в тканях организма выше, чем в доиндустриальный период. Так, у американцев она примерно в 400 раз больше, чем у древних людей. Однако не исключено, что еще в Древнем Риме знать подвергалась хронической свинцовой интоксикации вследствие использования свинцовых посуды и водопроводных труб. По крайней мере в скелетах захоронений того времени уровень свинца был очень высоким. Есть доказательства патологического действия свинца на сердечно-сосудистую систему, психическое и умственное развитие, онкогенного влияния.

Убедительны данные о последствиях применения американцам дефолиантов (вид гербицидов) во время войны во Вьетнаме. Жертвами стали как жители Вьетнама, так и сами американцы. Применение дефолиантов, содержащих диоксин, привело к рождению детей с пороками развития.

Источником чужеродных веществ, которые обнаружены в количествах, превышающих нормативы, является продовольственное сырье, или вещества, образующиеся в процессе его обработки, а также пищевые добавки, присадки, красители. «Непреднамеренно содержащиеся в продуктах вещества» попадают в них в виде загрязнений из сырья, тары, в результате обработки. Это могут быть ядовитые отходы промышленности, транспорта, домашнего хозяйства, упаковочных материалов, микотоксины, бактериальные токсины, остатки сельскохозяйственных ядохимикатов, лекарства и средства, используемые в ветеринарии, в том числе антибиотики и гормоны, моющие средства и т.п.

Молоко, в частности, загрязняется диоксиноподобными веществами в результате миграции их из упаковочных материалов и вследствие технологических нарушений, в частности, при дезинфекции. В Республике Башкортостан, например, уровень загрязнения цельного молока в ДЭ составил 0,23 нг/г, а в пакетированном молоке он уже был 16,5 нг/г.

Всего в разных странах известно примерно 500 наименований пищевых добавок. К добавкам относятся химические средства консервирования, пищевые красители, вкусовые ингредиенты и вещества, улучшающие товарный вид и способствующие сохранению продукта. Сюда относятся отбеливающие средства, нитриты и нитраты, применяемые для изготовления мясных продуктов с целью сохранения у них красного цвета, а также антиокислители.

Важной гигиенической предпосылкой является чистота пищевых добавок. Загрязнения, попадающие вместе с ними в готовый продукт, могут оказаться более опасными, чем они сами. Применение пищевых добавок, в частности красителей, строго регламентируется. Первые законодательные акты, регламентирующие их применение, появились в 1887 г. в Германии, где был издан закон о пищевых красителях. Позже такие законы появились и в других странах.

Вначале законы были основаны на использовании в практике негативных списков — перечней веществ, запрещенных к использованию. В настоящее время большинство стран, включая Россию, использует позитивные списки, т. е. перечни веществ, рекомендуемых

для использования в пищевой промышленности. Разрешения к применению базируются на данных токсикологических и гигиенических исследований.

Задачей контроля безопасности пищевого продукта является проверка соответствия входящих в него ингредиентов действующим разрешениям. Экспертный комитет ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам периодически проводит авторитетную токсикологическую оценку пищевых красителей и устанавливает нормативы суточного поступления каждого из них в организм человека с пищей.

В последние годы на российском продовольственном рынке произошли существенные изменения ассортимента и качества товаров. 52% всех поступающих на него товаров — импортного происхождения, поэтому контроль за ними представляет большие трудности.

Для борьбы за экологически чистые продукты питания жители многих развитых стран объединяются под эгидой различных обществ и движений. Так, например, в Германии организация «Зеленые потребители» объединяет около 1/3 населения.

В европейских странах введена система экомаркировки, т. е. специальных меток, подтверждающих гарантию безопасности продуктов (и других товаров) для здоровья населения. Согласно международным нормативным документам, на этикетке должны быть указаны все добавки, которые могут повлиять на здоровье людей.

Экомаркировки потребительских товаров служат не только как подтверждение их безопасности для населения, но и рассматриваются в ряде стран как инструмент экологической политики наряду с ограничением выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, а также как способ налогового регулирования. Так, в частности, Академия наук США представила правительству доклад, в котором рекомендовано не субсидировать хозяйства, использующие химические средства защиты растений. Ученые США стали инициаторами создания в 1989 г. Национального центра безопасности пищевых продуктов и технологий. Отправной точкой деятельности Центра является положение о том, что недостаточно высокое экологическое качество пищевых продуктов может стать причиной снижения генетического потенциала человека, отрицательно влиять на производительность труда и привести к увеличению смертности населения.

Опасность продуктов питания кажется абсурдом в России, где имеются большие ресурсы и возможности для преодоления сложившейся ситуации. Необходимо широко информировать население об

истинном положении дел, ликвидировать экологическую безграмотность. В этом направлении в РФ уже предприняты определенные шаги. Технические документы ФАО/ВОЗ по пищевым продуктам, направленные на обеспечение их эколого-гигиенической безопасности, являются достоянием общественности с 1957 г. Документы по Международной цифровой системе кодификации пищевых добавок опубликованы в России в 1998 г.

Практическая работа

Тема: «Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта»

Цель работы: Оценить уровень загрязнения на магистральном участке улицы.

Существенной составляющей загрязнения воздушной среды городов, особенно крупных, являются выхлопные газы автотранспорта, которые в ряде столиц мира, административных центров России и стран СНГ, городах-курортах составляют 60–80% от общих выбросов. Многие страны, в том числе и Россия, принимают различные меры по снижению токсичности выбросов путем лучшей очистки бензина, замены его на более чистые источники энергии (газовое топливо, этанол, электричество), снижения свинца в добавках к бензину. Проектируются более экономичные двигатели с более полным сгоранием горючего, создание в городах зон с ограниченным движением автомобилей и др. Несмотря на принимаемые меры, из года в год растет число автомобилей, и загрязнение воздуха не снижается.

Известно, что автотранспорт выбрасывает в воздушную среду более 200 компонентов, среди которых угарный газ, углекислый газ, окислы азота и серы, альдегиды, свинец, кадмий и канцерогенная группа углеводородов (бензопирен и бензоантроцен). При этом наибольшее количество токсичных веществ выбрасывается автотранспортом в воздух на малом ходу, на перекрестках, остановках перед светофорами. Так, на небольшой скорости бензиновый двигатель выбрасывает в атмосферу 0,05% углеводородов (от общего выброса), а на малом ходу — 0,98%, окиси углерода — соответственно 5,1% и 13,8%. Подсчитано, что среднегодовой пробег каждого автомобиля 15 тыс. км. В среднем за это время он обедняет атмосферу на 1350 кг кислорода и обогащает ее на 3250 кг углекислого газа, 530 кг окиси углерода, 93 кг углеводородов и 7 кг окислов азота.

Загрязнение атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей удобно оценивать по концентрации окиси углерода, в мг/м (Федорова А.И., Никольская А.Н., 2003).

Задание: Оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта, если известно, что ПДК выбросов автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м^3 .

Исходные данные:

Магистральная улица города с многоэтажной застройкой с двух сторон, продольный уклон 2° , скорость ветра 4 м/сек , относительная влажность воздуха — 70% , температура 20°C . Расчетная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях — 500 автомашин в час. Состав автотранспорта: 10% грузовых автомобилей с малой грузоподъемностью, 10% со средней грузоподъемностью, 5% с большой грузоподъемностью с дизельными двигателями, 5% автобусов и 70% легковых автомобилей.

Ход работы

Формула оценки концентрации окиси углерода (K_{co}) (Бегма и др., 1984; Шаповалов, 1990):

$$K_{co} = (0,5 + 0,01 N \cdot K_T) \cdot K_A \cdot K_Y \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II},$$

где $0,5$ — фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м^5 ; N — суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автом./час ; K_T — коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода; K_A — коэффициент, учитывающий аэрацию местности; K_Y — коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона; K_C — коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра; K_B — то же в зависимости от относительной влажности воздуха; K_{II} — коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Коэффициент токсичности автомобилей определяется как средневзвешенный для потока автомобилей по формуле:

$$K_T = \sum P_i K_{Ti},$$

где P_i — состав автотранспорта в долях единицы; K_{Ti} — определяется по табл. 3.4.

Таблица 3.4

| Тип автомобиля | Коэффициент K_t |
|------------------------------|-------------------|
| Легкий грузовой | 2,3 |
| Средний грузовой | 2,9 |
| Тяжелый грузовой (дизельный) | 0,2 |
| Автобус | 3,7 |
| Легковой | 1,0 |

Значение коэффициента K_A , учитывающего аэрацию местности, определяется по табл. 3.5.

Таблица 3.5

| Тип местности по степени аэрации | Коэффициент K_A |
|--|-------------------|
| Транспортные тоннели | 2,7 |
| Транспортные галереи | 1,5 |
| Магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой с двух сторон | 1,0 |
| Жилые улицы с одноэтажной застройкой, улицы и дороги в выемке | 0,6 |
| Городские улицы и дороги с односторонней застройкой, набережные, эстакады, виадуки, высокие насыпи | 0,4 |
| Пешеходные тоннели | 0,3 |

Для магистральной улицы с многоэтажной застройкой $K_A = 1$.

Значение коэффициента K_U , учитывающего изменение загрязнения воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона, определяем по табл. 3.6.

Таблица 3.6

| Продольный уклон, ° | Коэффициент K_y |
|---------------------|-------------------|
| 0 | 1,00 |
| 2 | 1,06 |
| 4 | 1,07 |
| 6 | 1,18 |
| 8 | 1,55 |

Коэффициент изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра K_C определяется по табл. 3.7.

Таблица 3.7

| Скорость ветра, м/с | Коэффициент K_C |
|---------------------|-------------------|
| 1 | 2,70 |
| 2 | 2,00 |
| 3 | 1,50 |
| 4 | 1,20 |
| 5 | 1,05 |
| 6 | 1,00 |

Значение коэффициента K_B , определяющего изменение концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха, приведено в табл. 3.8.

Таблица 3.8

| Относительная влажность | Коэффициент K_B |
|-------------------------|-------------------|
| 100 | 1,45 |
| 90 | 1,30 |
| 80 | 1,15 |
| 70 | 1,00 |
| 60 | 0,85 |
| 50 | 0,75 |

Коэффициент увеличения загрязнения воздуха окисью углерода у пересечений приведен в табл. 3.9.

Таблица 3.9

| Тип пересечения | Коэффициент $K_{\text{п}}$ |
|------------------------------|----------------------------|
| Регулируемое пересечение: | |
| - со светофорами обычное | 1,8 |
| - со светофорами управляемое | 2,1 |
| - саморегулируемое | 2,0 |
| Нерегулируемое: | |
| - со снижением скорости | 1,9 |
| - кольцевое | 2,2 |
| - с обязательной остановкой | 3,0 |

ПДК выбросов автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м.

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно снизить уровень выбросов в атмосферный воздух?
2. Перечислите основные газы, поступающие в атмосферу от автотранспорта.
3. Перечислите важнейшие экологические последствия глобального загрязнения атмосферы.

Практическая работа

Тема: «Расчет категории опасности предприятия в зависимости от массы и номенклатуры выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ»

Цель работы: Научиться рассчитывать категорию опасности предприятия.

Для определения категории опасности предприятия используют данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу.

Категорию опасности предприятия (КОП) рассчитывают по формуле:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right)^{a_i},$$

где M_i — масса выброса i -го вещества, т/год; ПДК_i — среднесуточная предельно допустимая концентрация i -го вещества, мг/м³; n — количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием; a_i — безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью сернистого газа. Определяется по табл. 3.10.

Таблица 3.10

Значения a_i для веществ различных классов опасности

| Константа | Класс опасности | | | |
|-----------|-----------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| a_i | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |

Значения КОП рассчитывают при условии, когда $M_i / \text{ПДК} > 1$.

При $M_i / \text{ПДК} < 1$ значения КОП не рассчитываются и приравниваются к нулю.

Для расчета КОП при отсутствии среднесуточных значений предельно допустимых концентраций используют значения максимально-разовых ПДК, ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) или уменьшенные в 10 раз значения предельно допустимых концентраций веществ в воздухе рабочей зоны.

Для веществ, по которым отсутствует информация о ПДК или ОБУВ, значения КОП приравнивают к массе выбросов данного вещества.

По величине КОП предприятия делят на четыре категории опасности. Граничные условия для деления предприятий по категориям опасности приведены в табл.3.11.

Таблица 3.11

Граничные условия для деления предприятий по категориям опасности в зависимости от значений КОП

| Категория опасности предприятия | Значения КОП |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 | $\text{КОП} > 10^6$ |
| 2 | $10^6 > \text{КОП} > 10^4$ |
| 3 | $10^4 > \text{КОП} > 10^3$ |
| 4 | $\text{КОП} < 10^3$ |

Задание: Рассчитать категорию опасности швейной фирмы «Милавица». На предприятии имеется 20 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, наименования которых приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

| Наименование вещества | ПДК м.р., мг/м ³ | ПДК с.с., мг/м ³ | ОБУВ, мг/м ³ | Класс опасности | Выброс, т/г |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|-------------|
| Углерода оксид | 5,0 | 3,0 | — | 4 | 0,00507 |
| Азота диоксид | 0,085 | 0,04 | — | 2 | 0,0001 |
| Сернистый ангидрид | 0,5 | 0,05 | — | 3 | 0,00353 |
| Бензин | 5,0 | 1,5 | — | 4 | 0,00157 |
| Аммиак | 0,2 | 0,04 | — | 4 | 0,2656 |
| Трихлорэтилен | 4,0 | 1,0 | — | 3 | 0,0557 |
| Ацетон | 0,35 | 0,35 | — | 4 | 0,0455 |
| Уайт-спирит | — | — | 1,0 | — | 0,0179 |
| Серная кислота | 0,3 | 0,1 | — | 2 | 0,000013 |
| Ортофосфорная кислота | — | — | 0,02 | — | 0,00006 |
| Дибутилфталат | — | — | 0,1 | — | 0,3672 |
| Марганец и его соединения | 0,01 | 0,15 | — | 2 | 0,000162 |
| Сварочный аэрозоль | 0,5 | 0,15 | — | 3 | 0,00223 |
| Взвешенные вещества | 0,5 | 0,15 | — | 3 | 0,00104 |
| Пыль матерчатая, х/б | 0,5 | 0,15 | — | 3 | 0,0949 |
| Пыль картона | 0,5 | 0,15 | — | 3 | 0,00519 |
| Пыль стали, электрокорунда | — | — | 0,04 | — | 0,068159 |
| Пыль древесная | — | — | 0,1 | — | 0,03078 |
| Пыль графита | 0,5 | 0,15 | — | 3 | 0,000972 |

Контрольные вопросы

1. Что такое ОБУВ и ПДК?
2. От чего зависит категория опасности предприятия?

Практическая работа

Тема: «Нормирование качества воды в водотоке»

Цель работы: Научиться рассчитывать необходимую степень очистки сточных вод.

Задание: Рассчитать необходимую степень очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода.

Содержание растворенного кислорода в водном объекте в результате сброса в него сточных вод не должно быть менее 4 мг/дм^3 или 6 мг/дм^3 в зависимости от вида водопользования и времени года.

Расчет ведут по БПК_{полн} в очищенных сточных водах $L^{\text{ст}}_{\text{полн}}$ из условия сохранения растворенного кислорода:

$$L^{\text{ст}}_{\text{полн}} = \frac{\gamma Q}{0,4q} (O^B - 0,4L^B_{\text{полн}} - O) - \frac{O}{0,4}$$

где $L^{\text{ст}}_{\text{полн}}$ — полное биохимическое потребление кислорода сточной водой, допустимой к сбросу, г/м^3 ; Q — среднемесячный расход воды водотока 95%-й обеспеченности, $\text{м}^3/\text{сутки}$; γ — коэффициент смешения; q — расход сбрасываемых сточных вод, $\text{м}^3/\text{сутки}$; O^B — содержание растворенного кислорода в водотоке до места выпуска сточных вод, г/м^3 ; $L^B_{\text{полн}}$ — полное биохимическое потребление кислорода водой водотока, г/м^3 ; O — минимальное содержание растворенного кислорода водного объекта, принимаемое равным 4 или 6 г/м^3 ; 0,4 — коэффициент для пересчета БПК_{полн}

$$\Xi_{\text{полн}}^{\text{БПК}} = \frac{\text{БПК}_{\text{полн}}^{\text{ст}} - L^{\text{ст}}_{\text{полн}}}{\text{БПК}_{\text{полн}}^{\text{ст}}} * 100\%.$$

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн} смеси воды водного объекта и сточных вод

При сбросе сточных вод в водные объекты снижение концентрации органических веществ происходит как за счет разбавления, так и благодаря процессам самоочищения. При протекании процесса самоочищения скорость изменения БПК пропорциональна количеству кислорода, потребного для биологического окисления органических веществ.

Расчет ведут по величине БПК_{полн} сточных вод, допустимых к отводу в водные объекты:

$$L^{\text{ст}} = \frac{\gamma Q}{q \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t}} (L_{\text{пдк}} - L_{\text{в}} \cdot 10^{-k_{\text{в}}t}) + \frac{L_{\text{пдк}}}{10^{-k_{\text{ст}}t}},$$

где γ — коэффициент смешения; Q — расход воды в водотоке, $\text{м}^3/\text{с}$; q — расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$; $k_{\text{ст}}$, $k_{\text{в}}$ — константы скорости потребления кислорода соответственно сточной водой и водой водного объекта. Принимаются равными $k_{\text{в}} = k_{\text{ст}}$. Константа скорости потребления кислорода (для смеси бытовых и природных вод) имеет различные значения в зависимости от температуры (табл. 3.13); $L_{\text{пдк}}$ — зна-

чение допустимой концентрации БПК_{полн} смеси сточных вод и воды водного объекта в расчетном створе, мг/л; L_B — БПК_{полн} воды водного объекта до места выпуска сточных вод, мг/л; t — длительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа, сут.

Таблица 3.13

| | | | | | | | |
|----------------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| Температура воды, °C | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| $k_{ст}$, сут | 0,04 | 0,05 | 0,063 | 0,08 | 0,10 | 0,126 | 0,158 |

Коэффициент E турбулентной диффузии (для равнинных рек):

$$E = V_{cp} * H_{cp} / 200,$$

где V_{cp} — средняя скорость течения реки, м/час; H_{cp} — средняя глубина русла, м.

Безразмерный коэффициент α , учитывающий гидравлические условия смешения:

$$a = X * \phi * \sqrt[3]{E / q},$$

где ϕ — отношение расстояния между местом выпуска сточных вод и первым пунктом водопользования по фарватеру и по прямой линии (равно 1, если извилистость русла слабо выражена); X — безразмерный коэффициент, принимается равным 1,0 при береговом и 1,5 при стержневом выпуске сточных вод.

Безразмерный коэффициент B :

$$B = e^{-a \sqrt[3]{L}},$$

где L — расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до ближайшего створа водопользования, м; e — постоянная, равная 2,71828.

Коэффициент смешения γ (уравнение Фролова-Родзиллера):

$$\gamma = \frac{1 - B}{1 + (Q/q) * B},$$

где Q , q — расход воды в водостоке и расход сточных вод, м³/с.

Необходимо учесть продолжительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа (t):

$$t = \frac{L}{v_{cp}} (\text{сут}),$$

где L — расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до контрольного створа, м; v_{cp} — средняя скорость течения воды водотока, м/с.

Задание 1. Определить необходимую степень очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода, которые сбрасываются в водоток, при следующих условиях:

- расход сточных вод $q = 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход водотока $Q = 38 \text{ м}^3/\text{с}$;
- коэффициент смешения сточных вод $\gamma = 0,51$;
- содержание растворенного кислорода в воде водотока до места сброса сточных вод $O^B = 6,5 \text{ мг/л}$;
- БПК_{полн} в водотоке до места сброса $L^B_{\text{полн}} = 2,0 \text{ мг/л}$;
- БПК_{полн} в сточной водой, поступающей на очистную станцию $= 380 \text{ мг/л}$.

Водный объект, куда производится сброс сточных вод, предназначен для коммунально-бытовых нужд населения, т. е., где допустимая концентрация растворенного кислорода в расчетном створе не должна быть менее 4 мг/л в любой период года.

Задание 2. Определить необходимую степень очистки сточных вод по БПК_{полн} для водного объекта, который используется для культурно-бытовых нужд населения, при следующих условиях:

- расход сточных вод $q = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход водотока $Q = 20 \text{ м}^3/\text{с}$;
- средняя скорость течения водотока $v_{\text{ср}} = 0,64 \text{ м/с}$;
- средняя глубина водотока $H = 1,2 \text{ м}$;
- расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа $L = 3,5 \text{ км}$;
- константа скорости потребления кислорода водой водотока $k_B = 0,1$;
- константа скорости потребления кислорода сточной водой $k_{\text{ст}} = 0,16$;
- БПК_{полн} воды водотока до места сброса сточных вод $L_B = 1,8 \text{ мг/л}$;
- БПК_{полн} неочищенных сточных вод $L_a = 400 \text{ мг/л}$.

Извилистость водотока слабо выражена. Выпуск сточных вод после очистных сооружений производится через береговой выпуск.

БПК_{полн} для данного вида водопользования $L_{\text{ПДК}} = 6 \text{ мг/л}$.

Практическая работа

Тема: «Нормирование качества воды в водотоке»

Цель работы: Научиться оценивать нормативное качество воды водоема 2 категории водопользования.

Задание: Проанализировав полученные результаты, сделайте вывод: достаточны ли меры для очистки воды, применяемые на предприятии? Предложите меры по уменьшению количества сточных вод и концентрации в них вредных веществ.

Строительное предприятие «Скиф» находится вне зоны городской застройки. При контрольном отборе проб в створе, заложенном на водотоке в 500 м ниже по течению, были получены следующие результаты (табл. 3.14):

Таблица 3.14

| Наименование ингредиентов | Фактическая концентрация, мг/л | ПДК в водоемах рыбохозяйственного назначения, мг/л |
|---------------------------|--------------------------------|--|
| Взвешенные вещества | 52,0 | 10 |
| Хлорид анион | 400,0 | 300 |
| БПК ₅ | 13,2 | 3 |
| Нефтепродукты | 0,08 | 0,05 |
| Аммиак | 0,9 | 0,05 |
| Нитрат анион | 10,7 | 40 |

Контрольные вопросы

1. Какова роль и значение экологического нормирования?
2. Что представляют собой ПДК и другие экологические нормативы?
3. Почему требования к качеству вод в водоемах, которые используются для рыборазведения, более жесткие, чем таковые для водных объектов хозяйственно-бытового назначения?

Практическая работа

Тема: «Расчет выбросов веществ от шиноремонтного участка»

Цель работы: Научиться рассчитывать максимально-разовые и валовые выбросы от некоторых промышленных участков.

В автотранспортном предприятии при ремонте резинотехнических изделий (камеры, покрышки и т.п.) выделяются загрязняющие вещества.

Так, при обработке местных повреждений (шероховке) выделяется резиновая пыль. При приготовлении клея, промазке клеем и сушке выделяются пары бензина. При вулканизации выделяются сернистый ангидрид, дивинил, изопрен.

Для расчета выбросов загрязняющих веществ участком ремонта резинотехнических изделий необходимо иметь следующие исходные данные:

- ◆ удельные выделения загрязняющих веществ при ремонте камер и покрышек;
- ◆ количество расходуемых за год материалов (клей, резина) для ремонта камер и покрышек;
- ◆ время работы шероховальных станков в день.

1. Валовые выделения загрязняющих веществ рассчитываются по формулам:

1.1. Валовые выделения пыли:

$$M_i^{\Pi} = g^{\Pi} \cdot n \cdot t \cdot 3600 \cdot \kappa \cdot 10^{-3}, \text{ кг/год},$$

где g^{Π} — удельный показатель выделения пыли, при работе единицы оборудования (табл. 3.15) в течение 1 сек (г);

n — число дней работы участка в году;

κ — количество шероховальных станков на участке;

t — среднее "чистое" время работы шероховального станка, в часах в день.

Такой расчет производится отдельно для камер и покрышек, а полученные результаты суммируются.

1.2. Валовые выбросы остальных загрязняющих веществ:

$$M_i^b = g_i^b \cdot B \cdot a \cdot 10^{-3}, \text{ кг/год},$$

где g_i^b — удельный показатель выделяемого загрязняющего вещества, г/кг ремонтных материалов, клея в процессе его нанесения с последующей сушкой и вулканизацией (табл. 3.16);

B — количество израсходованных ремонтных материалов, в кг в год (клей, резина, бензин);

a — количество вулканизационных станков на участке (учитывается при расчете выбросов сернистого ангидрида, изопрена и дивинила);

2. Максимально-разовые выбросы загрязняющих веществ определяются следующим образом:

2.1. Максимально разовый выброс бензина определяется по формуле:

$$G = \frac{g_i^b * B'}{3600 * t}, \text{ г/с,}$$

где B' — количество израсходованного бензина в день, кг;

t — время, затрачиваемое на приготовление, нанесение и сушку клея в день, час.

2.2. Максимально разовый выброс остальных веществ определяется по формуле:

$$G = \frac{M_i^b * 10^3 * a}{3600 * t * n}, \text{ г/с,}$$

где t — время вулканизации на одном станке в день, час;

n — количество дней работе участка в год;

a — количество вулканизационных станков на участке.

2.3. Максимально разовый выброс пыли при шероховке берется из табл. 3.15; удельные выделения загрязняющих веществ из табл. 3.16.

Таблица 3.15

Удельное выделение пыли при шероховке

| Наименование операции | Наименование выделяемых загрязняющих веществ | Агрегатное состояние | Удельное выделение при работе единицы оборудования в течение 1 сек (г) |
|-------------------------------------|--|----------------------|--|
| Шероховка мест повреждения камер | пыль | а | 0,0226 |
| Шероховка мест повреждения покрышек | пыль | а | 0,051 |

Таблица 3.16

Удельные выделения загрязняющих веществ в процессе ремонта
резинотехнических изделий

| Операция технологического процесса | Применяемые вещества и материалы | Выделяемые вредные вещества | | |
|---------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | | наименование | агрегатное состояние, п, а, п+а | удельное кол-во, г/кг (g_i^b) |
| Приготовление, нанесение и сушка клея | технический каучук, бензин | бензин | п | 900 |
| Вулканизация покрышек | Невулканизированная протекторная и прослоечная резина | сернистый ангидрид | п | 0,0054 |
| | | дивинил | п | 0,0213 |
| | | изопрен | п | 0,0162 |
| Вулканизация камер | Вулканизированная камерная резина | сернистый ангидрид | п | 0,0054 |

ЗАДАНИЕ

| ПАРАМЕТРЫ | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|------------------------|-----------|---|--------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------|---|
| Вариант | Число дней работы участка в году | | Количество станков, шт | | Количество израсходованных ремонтных материалов, кг/год | | Время работы в день одного станка, ч | | Время работы в день одного станка, ч | | Время, затрачиваемое на приготовление и нанесение и сушку клея, ч/год |
| | Вулканизация | Шероховка | Вулканизация | Шероховка | Бензин | Резина | Вулканизация камер | Вулканизация покрышек | Шероховка камер | Шероховка покрышек | |
| 1 | 215 | 215 | 1 | 2 | 50 | 25 | 2 | 3 | 1 | 0,5 | 100 |
| 2 | 194 | 183 | 2 | 1 | 100 | 12,5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 200 |
| 3 | 213 | 155 | 1 | 3 | 50 | 37,5 | 7 | 6 | 4 | 1 | 100 |
| 4 | 234 | 132 | 3 | 3 | 150 | 37,5 | 3 | 3 | 7 | 0,5 | 300 |
| 5 | 258 | 112 | 2 | 2 | 100 | 25 | 5 | 4 | 6 | 0,5 | 200 |

Контрольные вопросы

1. Какие загрязняющие вещества выделяются при ремонте резинотехнических изделий (камеры, покрышки и т.п.)?
2. Какие исходные данные необходимо иметь для расчета валовых выбросов загрязняющих веществ от шиноремонтного участка?

Практическая работа

Тема: «Методика определения экономического ущерба от деятельности предприятия»

Цель работы: Освоение методов оценки экономического ущерба путем расчета платежей за загрязнение атмосферного воздуха, водоемов при сбросе сточных вод, от хранения твердых бытовых отходов.

Экологический ущерб — это понижение качества (полезности) окружающей среды вследствие ее загрязнения. Ущерб выражается суммой дополнительных затрат по воспроизводству и восстановлению качества природных ресурсов в данном регионе до уровня, предшествующего осуществлению загрязнения от рассматриваемого объекта. В настоящее время оценка годового экономического ущерба, нанесенного окружающей среде сбросами загрязняющих веществ в водоемы, выбросами в атмосферу или промышленными отходами предприятий, осуществляется с учетом платежей за его компенсацию, установленных предприятиям-загрязнителям в соответствии с действующим законодательством.

Под экономическим ущербом, наносимым окружающей среде, понимаются выраженные в стоимостной форме фактические и возможные убытки, причиняемые народному хозяйству загрязнениями, или дополнительные затраты на компенсацию этих убытков.

В настоящее время выделяют два основных метода расчета искомой величины: метод концентраций и метод валовых выбросов.

Метод концентраций (метод локальных ущербов) позволяет с большой точностью определить ущерб в промышленном районе, загрязненном сразу несколькими источниками выбросов. Основой для расчета ущерба по концентрационной методике являются удельные ущербы, наносимые различным отраслям народного хозяйства при определенном уровне загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами. Эти величины определяют на основании эмпирических зависимостей с использованием большого числа статистических данных. Удельные ущербы показывают, какой ущерб при определенной концентрации загрязнителя наносят одной единице основных объек-

тов народного хозяйства, попадающих в зону загрязнения.

Наибольшее применение находят методики укрупненной оценки ущерба, среди которых наиболее распространенной является методика валовых выбросов, разработанная Президиумом Академии наук СССР в 1983 году.

Экономический ущерб, причиняемый выбросом загрязнений в атмосферный воздух для всякого источника, вычисляется по формуле:

$$Y_{\text{атм}} = K \cdot r \cdot f \cdot M,$$

где K — удельный ущерб, наносимый народному хозяйству выбросом в атмосферу одной условной тонны загрязняющих веществ (может меняться в зависимости от роста цен), руб/усл.т; $K = 1,2$; r — коэффициент относительной опасности, зависящий от типа территории и равный для курортов и заповедников — 10, для пригородных зон и зон отдыха — 8, для лесов — 0,2–0,0025, для пашен — 0,25, садов — 0,5; f — безразмерный коэффициент, учитывающий характер рассеивания примеси в атмосфере. Его величина зависит от скорости оседания частиц, высоты их выбросов от земли, температуры газа. Для газов он равен 1, для твердых частиц равен 20; M — приведенная масса годового выброса загрязнений из источника усл. т/год.

Величина приведенной массы выброса загрязнений в атмосферу определяется по формуле:

$$M = A_i \cdot m_i,$$

где A_i — норматив платы за выброс 1 тонны загрязняющих веществ; m_i — масса годового вредного выброса i -ого вида в атмосферу, т/год.

Оценка загрязнения водоемов

Годовой экономический ущерб от сброса загрязняющих веществ в водоем оценивается по формуле:

$$Y_{\text{в}} = K \cdot r_{\text{к}} \cdot M,$$

где K — константа, численное значение которой рекомендуется принимать 400 руб/усл. т для сбросов в водоемы (в пределах установленных лимитов) после 1985 г.; $r_{\text{к}}$ — коэффициент, имеющий разные значения для различных водохозяйственных участков, например, для Волги величина принимается 0,8–2,6; для Дона — 1,62–3,79.

Величина M рассчитывается по следующей формуле:

$$M = \sum A_i \cdot m_i,$$

где A_i — показатель относительной опасности сброса; m_i — масса годового i -го выброса, т/год.

Значение показателя A_i определяется по формуле:

$$A_i = \frac{1 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}}{\text{ПДК} \frac{\text{г}}{\text{л}} x_i},$$

где ПДК — предельно допустимая концентрация i -го вещества в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, г/м³. Величина показателя A_i для взвешенных веществ составляет 0,33, для нефтепродуктов — 20, для меди — 100 и т. д.

Оценка экологического ущерба в результате временного хранения отходов.

Согласно постановлению правительства РФ № 344 от 12.06.2003 «О плате за негативное воздействие на окружающую среду», плата за размещение отходов производства и потребления рассчитывается по формуле:

$$Y_{\text{тб}} = M_i \cdot S \cdot K \text{ руб/год},$$

где M_i — количество отходов образующихся на предприятии, т/год; S — норматив платы за размещение одной единицы измерения отходов, руб. за 1 тонну; K — коэффициент, использующийся при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках.

Общий экономический ущерб от деятельности предприятия может быть определен по формуле:

$$Y_{\text{выб}} = Y_{\text{атм}} + Y_{\text{в}} + Y_{\text{тб}} + Y_{\text{зем}} + Y_{\text{н}},$$

где $Y_{\text{выб}}$ — экономический ущерб от массы всех видов выбросов, поступающих в природную среду от отдельного источника или предприятия в целом, руб/год; $Y_{\text{атм}}$ — экономический ущерб, причиняемый выбросом загрязнений в атмосферный воздух, руб/год; $Y_{\text{в}}$ — экономический ущерб, причиняемый годовым сбросом загрязняющих веществ в водные источники, руб/год; $Y_{\text{тб}}$ — экономический ущерб от временного хранения отходов, руб/год; $Y_{\text{зем}}$ — экономический ущерб от годового нарушения и загрязнения земельных ресурсов, руб/год; $Y_{\text{н}}$ — экономический ущерб от годового нарушения и загрязнения недр, руб/год (Никитин С.П., Машуков А.А., 2002).

Задание 1.

Рассчитайте экономический ущерб, причиняемый выбросом загрязнений в атмосферный воздух от деятельности предприятия, которое находится в городской зоне. Исходные данные по выбросам в атмосферу приведены в таблице 3.17.

Таблица 3.17

| Стационарные источники | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Наименование загрязняющих веществ | Масса годового вредного выброса (т/год) | Норматив платы за выброс 1 тонны ЗВ (руб/т) (в пределах установленных лимитов) |
| Сернистый ангидрид | 71,675 | 40 |
| Оксид углерода | 813,803 | 0,6 |
| Оксид азота | 762,227 | 35 |
| Пыль древесная | 0,212 | 13,7 |
| Сажа | 0,79 | 41 |
| Зола мазутная | 0,163 | 7 |
| Оксид кальция | 1,181 | 7,5 |
| Сульфат железа | 0,121 | 293 |
| Оксид магния | 0,215 | 41 |
| Бензин | 0,120 | 1,2 |
| Передвижные источники | | |
| Дизельное топливо | 435 | 2,5 |
| Бензин | 1130 | 1,2 |

Задание 2.

Рассчитайте годовой экономический ущерб от сброса загрязняющих веществ в водоем того же предприятия. Исходные данные по сбросам приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18

Перечень сбрасываемых загрязняющих веществ

| Наименование ЗВ | Количество сбрасываемых ЗВ, т/год | ПДК, г/м ³ |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Азот аммонийный | 29,990 | 0,05 |
| Взвешенные вещества | 952,476 | 3,03 |
| Железо | 25,825 | 0,05 |
| Медь | 0,183 | 0,01 |
| Нефть и нефтепродукты | 2,915 | 0,05 |
| Сульфаты | 4562,448 | 100 |
| Хлориды | 2054,9 | 300 |

Задание 3.

Рассчитайте экономический ущерб в результате временного хранения отходов данного предприятия. Перечень отходов и нормы платы приведены в табл. 3.19, 3.20.

Таблица 3.19

Перечень отходов, образующихся на Астраханской ГРЭС

| Название отходов | Класс опасности | Количество отходов, тонн |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Шлам от электролита кислотного | II | 0,037 |
| Ветошь промасленная | III | 0,207 |
| Шлак от сварки | III | 0,099 |
| Хлорид ртути | I | 0,142 |
| Шины изношенные | IV | 0,682 |
| Автокамеры изношенные | IV | 0,061 |

Таблица 3.20

Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления

| | Вид отходов (по классам опасности для окружающей среды) | Единица измерения | Нормативные платы за размещение 1 единицы измерения отходов в пределах установленных лимитов размещения отходов <*> (руб) |
|---|--|-------------------|---|
| 1 | Отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные) | тонна | 1739,2 |
| 2 | Отходы II класса опасности (высокоопасные) | тонна | 745,4 |
| 3 | Отходы III класса опасности (умеренно опасные) | тонна | 497 |
| 4 | Отходы IV класса опасности (малоопасные) | тонна | 248 |
| 5 | Отходы V класса опасности (практически неопасные): добывающей промышленности | тонна | 0,4 |
| 6 | Отходы перерабатывающей промышленности | куб.метр | 15 |

<*> Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления в пределах установленных лимитов применяются с использованием коэффициента 0,3 при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источника негативного воздействия.

Задание 4.

Рассчитайте общий экономический ущерб от деятельности этого предприятия.

Контрольные вопросы

1. На основании полученных значений платежей сделайте вывод о том, какой среде данное предприятие наносит наибольший ущерб.
2. Какие технические средства необходимо использовать для того, чтобы уменьшить воздействие на окружающую среду деятельности данного предприятия?

Практическая работа

Тема: «Экологические проблемы»

Цель работы: Познакомиться с экологическими проблемами и научиться рассчитывать основные показатели.

Задание 1

В закрытом помещении разбился медицинский ртутный термометр. Вся ртуть испарилась. Вес испарившейся ртути 0,5 г, ПДК паров ртути в воздухе 0,3 мкг/м³. Можно ли находиться в помещении с образовавшимися парами ртути, если его размеры 6х8х3 м³?

Какой объем должно иметь помещение, чтобы в нем можно было находиться при таком общем количестве ртути в воздухе?

Задание 2

Определите, превышает ли загрязнение воздуха допустимые санитарные нормы, если в нем одновременно присутствуют пары фенола и ацетона в концентрациях: $C_{\text{ац}} = 0,345 \text{ мг/м}^3$, $C_{\text{фс}} = 0,009 \text{ мг/м}^3$, учитывая, что фенол и ацетон обладают эффектом суммации. ПДК фенола в воздухе 0,01 мг/м³, а ацетона 0,35 мг/м³.

Задание 3

С территории Москвы смывается 430 тыс. т загрязняющих веществ в год. Какой объем воды необходим для разбавления этих загрязняющих веществ до концентрации 0,25 мг/л? Какой объем воды необходим для разбавления тех же загрязняющих веществ до концентрации 0,75 мг/л? Достаточно ли в первом и во втором случаях объема годового стока р. Москвы, который составляет около 1 км³ в год? Установлено, что промышленные и хозяйственно-бытовые стоки не должны увеличивать естественную концентрацию взвешенных загрязняющих веществ в воде больше, чем на 0,25 мг/л для водных объектов I и III категории и на 0,75 мг/л для II и IV категорий.

Задание 4

В водоемы России ежегодно сбрасывается 0,002 тыс. т ртути. Какой объем чистой воды необходим для разбавления ртути (ПДК ртути 0,001 мг/л³)? Сравните его с объемом воды в оз. Байкал, который равен 23 тыс. км³.

Для решения необходимо: 1) перевести объем сбрасываемой ртути в мг; 2) найти объем чистой воды для разбавления ртути с учетом, что 0,001 мг ртути приходится на 1 л³ воды (ПДК), а количество сбрасываемой ртути приходится на неизвестное количество воды. 3) сравнить объем полученной воды с объемом оз. Байкал.

Задание 5

Подсчитайте массу (или объем) бытовых отходов вашей семьи за день, неделю и месяц отдельно по разным видам бытовых отходов — пищевых, бумажных, синтетических, металлических и т. д. Вычислите массу (или объем) отдельных видов отходов и их суммарную массу (объем), которая образуется за год. Составьте таблицу видов и количества бытовых отходов вашей семьи за день, неделю, месяц, год.

Задание 6

Определите экономический эффект от утилизации бытовых отходов, взяв в качестве примера макулатуру: 60 кг макулатуры сохраняют от вырубки одно взрослое дерево, из 1 кг макулатуры можно изготовить 25 тетрадей, 1 кг макулатуры экономит 0,2 м³ воды и 1 кВт/ч электроэнергии при изготовлении бумаги.

Контрольные вопросы

1. Что такое качество окружающей природной среды?
2. С помощью какого экологического норматива устанавливают пределы хозяйственной нагрузки на природные комплексы и ресурсы?
3. Какова связь между ПДК, ПДС, ПДВ?

4. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРАВА

4.1. Понятие и определение экологического права

Экологическое право представляет собой совокупность правовых принципов и норм, регулирующих общественные отношения:

- по охране окружающей среды от вредных воздействий в процессе хозяйственной и иной деятельности;
- по рациональному использованию природных ресурсов;
- по охране экологических прав и законных интересов физических и юридических лиц;
- по обеспечению экологической безопасности.

При этом под охраной окружающей среды принято понимать деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий.

Рациональное использование природных ресурсов — это комплексное, экономически эффективное использование природных ресурсов в сочетании с требованиями охраны окружающей природной среды.

Под экологической безопасностью понимается состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества, государства, а также окружающей природной среды от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на нее; положение, при котором отсутствует угроза нанесения ущерба природной среде и здоровью населения.

Принято считать, что формально-юридически под окружающей средой в российском законодательстве понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Природный объект — это естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства.

Природно-антропогенный объект — это природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или)

объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение.

Антропогенный объект — объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

Последние годы все большее распространение и обоснование получает точка зрения, в соответствии с которой экологическое право охватывает своим регулированием все аспекты человеческого взаимодействия с материальным миром природы, окружающим людей, то есть экологические отношения. В их содержание включаются природопользование, охрана окружающей среды, сохранение уникальных произведений природы, культуры, здравоохранения, все виды воздействий на природу, искусственное восстановление благоприятного состояния природной среды, защита от неблагоприятных воздействий стихии и т. д. В таком понимании экологическое право включает правовые нормы об использовании и охране земель, их недр, вод (включая океаны, моря, подземные воды, ледники), лесов и иных составляющих растительного царства, диких животных, обитающих в состоянии естественной свободы в сухопутной и водной среде, атмосферы Земли и космического пространства со всеми ее природными компонентами.

Сегодня во многих государствах мира всё большее признание получает подход, в соответствии с которым обеспечение экологической безопасности является относительно самостоятельным предметом регулирования, наряду (хотя и в связи) с природопользованием и охраной окружающей среды.

Особенности российского экологического законодательства. Новейшее российское законодательство в этом плане опережает законодательство других государств и международные документы, в которых понятие "экологическая безопасность" используется чрезвычайно редко (предметом регулирования последних, как правило, являются охрана окружающей среды, использование природных ресурсов, защита экологических прав человека и пр.).

Такое состояние российского экологического законодательства иногда квалифицируется как неоправданное забегание вперед по сравнению с законодательством других стран, своего рода увлечение правовой риторикой, манипулирование понятийно-терминологическим аппаратом. Более того, ряд исследователей расценивает как некорректное само понятие "экологическая безопасность", прибегая

примерно к следующей аргументации: отношения по обеспечению соблюдения экологических прав и законных интересов физических и юридических лиц, как деятельности по обеспечению их экологической безопасности, регулируются в рамках отношений по природопользованию и охране окружающей среды, и, соответственно, отсутствуют серьезные мотивы для выделения отношений по обеспечению экологической безопасности в отдельную группу общественных отношений, регулируемых экологическим правом, наряду с отношениями по использованию природных ресурсов и охране окружающей среды.

Такой подход имел бы свой резон, а следовательно, и право на существование, если бы речь шла об "обычном" ухудшении качества окружающей среды в нарушение установленных стандартов. Но нельзя отрицать логику и в таком подходе, который ориентирует охранительные нормы в данной сфере на некий предел, порог допустимого загрязнения. И тогда предметом охраны (хотя и условно) становится экологическая безопасность. Условность здесь приемлема в такой же мере, в какой мы говорим, допустим, о международной безопасности или о государственной безопасности, хотя объект охраны, в строгом смысле слова, и здесь можно было бы свести к состоянию защищенности жизненно важных интересов личности, общества и т.п.

Негативное отношение ряда авторов к такому выделению вызывает особую озабоченность в связи с тем, что его высказывают порой признанные авторитеты в области экологического права. Например, М.М. Бринчук делает вывод об отсутствии оснований для выделения обеспечения экологической безопасности в самостоятельное направление деятельности в сфере взаимодействия общества и природы и о некорректности выделения обеспечения экологической безопасности как предмета совместного ведения органов государственной власти РФ и органов государственной власти субъектов Федерации наряду с природопользованием и охраной окружающей среды в ст.72 Конституции РФ. При этом делается ссылка на чрезвычайно широкий спектр мнений, высказанных в отечественной юридической литературе, относительно содержания экологической безопасности: от обеспечения экологических прав и интересов человека, исключения экологического вреда природной среде и человечеству, защиты экологических интересов личности, общества и государства до обеспечения радио-

нального использования, воспроизводства и повышения качества окружающей среды.

В результате:

- одни авторы рассматривают экологическую безопасность как составную часть охраны окружающей среды;

- другие ставят между ними знак равенства;

- третьи включают в содержание экологической безопасности не только охрану окружающей среды, но и рациональное использование, воспроизводство и повышение качества окружающей среды;

- наконец, высказывается мнение о том, что обеспечение экологической безопасности — деятельность, осуществляемая наряду с охраной окружающей природной среды.

Экологическое право как отрасль права

Экологическое право — одна из отраслей в системе российского права. Появление и закрепление норм, регулирующих экологические общественные отношения, в источниках, относящихся к другим отраслям российского права (конституционному, гражданскому, уголовному, предпринимательскому, административному, финансовому, аграрному, трудовому и др.), свидетельствуют об экологизации российского законодательства, а не о размытости границ предмета рассматриваемой отрасли.

В настоящее время теория права устанавливает следующий круг условий или перечень критериев, необходимых для признания системы правовых норм в качестве отрасли права:

- специфический круг общественных отношений;

- специфические нормы, регулирующие эти отношения;

- достаточно крупная общественная значимость круга общественных отношений;

- достаточно обширный объем нормативно-правового материала;

- заинтересованность общества в выделении новой отрасли права;

- специальные принципы права, регулирующие построение новой отрасли.

Экологическое право отвечает всем вышеперечисленным условиям и критериям. Специфический характер экологических общественных отношений, равно как и особая заинтересованность общества и государства в их специальном правовом регулировании, не вызывают

сомнения, о чем наглядно свидетельствует бурный процесс нормотворчества, выразившийся в принятии в Российской Федерации в последние 10 лет основных законов в области охраны окружающей среды, иногда квалифицируемых и критикуемых на Западе как "рамочные", в которых закреплены среди прочего правовые принципы природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Государственный интерес в формировании экологического права выражается в том, что в сложившихся противоречиях между обществом и природой невозможно навести должный правопорядок без дополнительных правовых усилий и эти усилия должны носить характер не частных усовершенствований, а радикального изменения всей системы правового регулирования.

Понимая под функциями государства основные или главные направления его деятельности, определяемые потребностями решения некоторых общих для общества задач, экологические функции государства можно определить как деятельность по распоряжению в интересах общества природными ресурсами, находящимися в собственности государства, а также деятельность, направленная на обеспечение рационального использования природных ресурсов с целью предупреждения их истощения, на охрану окружающей среды от деградации ее качества, охрану экологических прав и законных интересов физических и юридических лиц, обеспечение экологической безопасности.

Создание оптимальной модели экологического управления во многих государствах рассматривается в качестве важного фактора повышения эффективности законодательства в области охраны окружающей среды, реализации экологической политики. При этом функции государственного управления охраной окружающей среды различаются от государства к государству в зависимости от преобладающих научных воззрений на назначение экологического управления, определение круга стоящих задач, его соотношение с другими сферами государственной деятельности, внутреннюю структуру системы его органов, функции и компетенцию.

В настоящее время наиболее распространенными подходами к проблеме управления охраной окружающей среды являются следующие:

1. Фрагментарный подход. Данный подход основывается на раздельном экологическом управлении по объектам природы или отраслям экономики и исходит из традиционного деления природной среды на несколько основных компонентов: землю, недра, воды, расти-

тельный и животный мир, атмосферный воздух и космическое пространство.

В результате экологические функции возлагаются на действующие хозяйственно-отраслевые ведомства вместо того, чтобы создавать новые административные ведомства по охране окружающей среды, тем самым уже заранее осложняя центральный бюрократический аппарат.

Неудовлетворительные результаты по сохранению природы и обеспечению рационального использования природных ресурсов показали несостоятельность фрагментарного подхода. Как отмечал на третьей сессии подготовительной Конференции ООН по окружающей среде и развитию в 1992 г. генеральный директор Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП), фрагментарность управления явилась одной из основных причин, вызвавших современные экологические проблемы и связанные с этим опасные тенденции к общему ухудшению жизненных условий. "Может быть, с административной точки зрения удобно делить управленческую деятельность на сектора, но, если мы хотим смоделировать будущий мир правильно, нам необходимо мыслить и действовать на межведомственной основе".

Усилия по охране отдельных природных объектов при фрагментарном управлении оказываются малоэффективными. Как результат, фрагментарный подход был подвергнут справедливой критике по линии его узковедомственного характера и отсутствия достаточного государственного регулирования. Раздробление ответственности между многими министерствами, борьба против вредоносных воздействий, доверенная министерствам, защищающим производителей этих воздействий; беспомощные службы; слабый контроль, часто не существующий вовсе; смехотворные санкции, по мнению Ф. Сен-Марка, делают необходимой реорганизацию всей административной структуры, чтобы она стала эффективной и обладала властью по отношению к загрязнителям. Необходимо усиление роли государства, что должно повлечь за собой создание "власти в защиту природы", а не "власти над природой". В то же время отрасли хозяйства, имеющие дело с биологическими ресурсами, часто сосредоточивают свое внимание на их эксплуатации, а не охране, что, по мнению Р. Аллена, вызвано серьезными противоречиями, возникающими из-за недостатка финансовых средств, и последующим сильным нажимом на все сектора экономики в целях получения прямой экономической выгоды.

2. Противоречивость экономики и экологии. Данный подход основывается на наличии объективного противоречия между экономикой и охраной окружающей среды в силу несовместимости стоящих перед ними задач, что по своей сути ставит под сомнение представление о рыночной модели экономики как способной гарантировать устойчивый общественный прогресс. Именно игнорированием данного противоречия многие ученые объясняют отсутствие успехов в области природоохранения в условиях применения рыночных механизмов при одновременном снижении управленческой роли государства.

Вместе с тем нельзя игнорировать тот факт, что рыночная экономика все же остается доминирующей моделью общественных экономических отношений. В таких условиях требуется поиск компромиссных вариантов. При этом разумной представляется идея о сочетании методов административного и рыночного воздействия на хозяйственную деятельность.

3. Консолидация экологического управления. Под воздействием философской концепции о единстве и взаимодействии всех явлений и элементов природы (В.И. Вернадский, Е.К. Федоров и др.), а также с учетом известных недостатков управления разрабатывается система концептуальных взглядов, основанная на идее интеграции всех аспектов управления охраной окружающей среды в рамках единой управленческой системы.

Интеграция рассматривается как выделение природоохранных функций из хозяйственно-отраслевого управления и их объединение на основе создания специализированного ведомства по охране окружающей среды.

В рамках концепции интеграции экономического управления разрабатываются две принципиально различные управленческие модели.

Одна из них основана на жестком объединении всех функций управления природопользованием в рамках министерства природных ресурсов.

Другая — гибкая модель интеграции управления — построена на идее усиления координации действий в области охраны окружающей природной среды и налаживании взаимодействия между подразделениями, выполняющими функции охраны природных ресурсов в процессе своих хозяйственных мероприятий.

В концепции интеграции экологического управления в его двух вариантах моделей за государственным управлением в области охра-

ны окружающей среды закрепляется самостоятельная сфера управленческой деятельности, не совпадающая с управлением отраслями экономики или отдельными видами природопользования; строится на выделении контрольно-надзорных полномочий в области охраны окружающей природной среды и регулирования природопользования из действующих хозяйственных подразделений, их отграничении от полномочий по эксплуатации природных ресурсов. Одновременно в ней указывается на необходимость создания в качестве центра экологического управления единого специализированного ведомства, компетенция и полномочия которого определяются исходя из передачи ему функций и инструментов контроля за эксплуатацией природных ресурсов в интересах их сохранения. Соответственно природоохранное ведомство для обеспечения добросовестного соблюдения экологических интересов не должно быть природопользователем, то есть не должно участвовать в хозяйственном использовании природных ресурсов и получения прибыли.

4. Исправительный и предупредительный подходы. В соответствии с исправительным подходом считается, что для решения проблемы загрязнения необходимо обеспечить очистку отходов производства и контролировать ее путем установления лимитов для выбросов и сбросов, не реформируя при этом экономику и другие сферы общественной жизни. Данный подход ориентирован на потребление природных ресурсов без четких обязательств сохранять, возобновлять и восстанавливать эти ресурсы, то есть на "потребление ради производства".

Рассматриваемый подход дал начало разработке экологических стандартов и лимитов нагрузки на природную среду, но в качестве доминирующего просуществовал недолго.

Предупредительный подход предусматривает перемещение экологического контроля с конца технологического процесса и его распределение по всей цепочке: с момента добычи сырья и до получения готовой продукции. Главная цель такого контроля — предупреждение ущерба. В отличие от исправительного подхода, его реализация требует структурной перестройки управления экономикой, технологической модернизации производства, внедрения различного рода ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий. Следствием развития предупредительного подхода стало распространение в управленческой практике такого метода управления, как оценка

воздействия на окружающую среду (ОВОС) и экологическая экспертиза.

5. Интеграция экономики и экологии. В данном случае окружающая среда рассматривается не только как материальная база экономического и общественного развития, но и как условие выживания человека. Речь идет о том, что в первую очередь необходимо реформировать экономику, интегрировать экономические интересы в экономическое развитие, поставить экологические интересы над экономическими, заставить первые определять развитие экономики.

Задачи охраны окружающей среды должны быть поставлены перед всеми правительственными ведомствами, международными организациями и крупным учреждениями частного сектора. Механизм реализации этих задач должен опираться на установление ответственности таких учреждений за последствия своей деятельности. Сам процесс принятия решений должен быть скоординированным и предусматривать широкое участие населения. Достичь интеграции экологических и экономических факторов без слияния двух сфер управления возможно путем наделения органов специализированного природоохранного управления реальными возможностями участия и рычагами влияния на принимаемые хозяйственные решения. Одновременно экономика не освобождается от обязанностей по охране окружающей природной среды и выполняет функции экологического управления применительно к своему виду деятельности, что требует создания в своей структуре соответствующих подразделений по охране окружающей среды.

В России идеи интеграции экономического и экологического факторов нашли политическую и правовую поддержку. Указ Президента "О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития" от 4 февраля 1994 г. предусматривает обеспечение комплексного решения проблем сбалансированного развития экономики и улучшения состояния окружающей среды. Однако на сегодняшний день в России решающую роль в реформировании и построении действующей системы экологического управления пока еще играют идеи фрагментарного подхода, ослабления позиций комплексного экологического управления на фоне усиления позиций ресурсových ведомств, фактического ослабления государственного регулирования и контроля.

Метод правового регулирования — способ правового воздействия на общественные отношения со стороны государства. В отличие

от предмета, метод правового регулирования не является столь значимым для выделения той или иной совокупности правовых норм в качестве отрасли права.

Доказательством тому является тот факт, что в системе российского права выделено примерно 15 отраслей права, в то время как в науке права признается два метода:

- административно-правовой;
- гражданско-правовой.

Суть административно-правового метода регулирования заключается в установлении предписания, дозволения, запрета, в обеспечении государственного принуждения к должному поведению и исполнению правовых предписаний. В экологическом праве административно-правовой метод опосредуется в специфических формах — нормировании, экспертизе, сертификации, лицензировании и др. Он выражается в установлении допустимых выбросов загрязняющих веществ в природную среду, которые должны соблюдаться предприятиями-природопользователями, выдаче этим предприятиям специальных лицензий на такой выброс, применении мер юридической ответственности и др.

Гражданско-правовой метод регулирования основывается на равенстве сторон правоотношения.

В современном экологическом праве применяются оба метода правового регулирования. Причем в условиях перехода к рыночной экономике с совершенствованием гражданского, предпринимательского законодательства гражданско-правовой метод применяется в данной отрасли все более широко.

Заключение договора на природопользование представляет собой пример гражданско-правового метода регулирования. Однако, если в процессе природопользования нарушаются условия, предусмотренные договором, и причиняется существенный экологический вред, может быть применен административно-правовой метод регулирования отношений по природопользованию.

Принципы экологического права

Принципы экологического права составляют основу рассматриваемой отрасли, а их соблюдение может служить мерилом правового и социального характера государства, эффективности всей деятельности по обеспечению рационального природопользования и охраны окружающей среды, защите экологических прав и законных интере-

сов человека и гражданина, обеспечению экологической безопасности. Экологическое право основано как на общих принципах российского права, так и на принципах данной отрасли (отраслевых). Основные отраслевые принципы экологического права определены в ст.3 Федерального закона "Об охране окружающей среды" 2002 г.

Этим законом установлено, что хозяйственная и иная деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, юридических и физических лиц, оказывающая воздействие на окружающую среду, должна осуществляться на основе следующих принципов:

- соблюдение права человека на благоприятную окружающую среду;

- обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека;

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

- охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов как необходимые условия обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности;

- ответственность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на соответствующих территориях;

- платность природопользования и возмещение вреда окружающей среде;

- независимость контроля в области охраны окружающей среды;

- презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности;

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

- обязательность проведения государственной экологической экспертизы проектов и иной документации, обосновывающих хозяйственную и иную деятельность, которая может оказать негативное

воздействие на окружающую среду, создать угрозу жизни, здоровью и имуществу граждан;

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

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

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

- обеспечение 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 учетом экономических и социальных факторов;

- обязательность участия в деятельности по охране окружающей среды органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц;

- сохранение биологического разнообразия;

- обеспечение интегрированного и индивидуального подходов к установлению требований в области охраны окружающей среды к субъектам хозяйственной и иной деятельности, осуществляющим такую деятельность или планирующим осуществление такой деятельности;

- запрещение 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;

- соблюдение права каждого на получение достоверной информации о состоянии окружающей среды, а также участие граждан в принятии решений, касающихся их прав на благоприятную окружающую среду, в соответствии с законодательством;

- ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды;

- организация и развитие системы экологического образования, воспитание и формирование экологической культуры;
- участие граждан, общественных и иных некоммерческих объединений в решении задач охраны окружающей среды;
- международное сотрудничество Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

Приведенный перечень принципов не является ни исчерпывающим, ни полным. Процесс формирования принципов экологического права продолжается параллельно с совершенствованием и дальнейшим развитием российского экологического законодательства. Доказательством этого может служить увеличение числа отраслевых принципов российского законодательства с 6 (по закону "Об охране окружающей природной среды" 1991 г.) до 23 (по Федеральному закону "Об охране окружающей среды" 2002 г.).

Источники экологического права

Под источниками экологического права понимаются нормативно-правовые акты, содержащие нормы, регулирующие отношения в сфере взаимодействия общества и природы.

Источники экологического права могут быть классифицированы по следующим основаниям.

- По юридической силе — на законы и подзаконные акты.

Законы — нормативно-правовые акты, принимаемые представительными органами государственной власти.

Подзаконные акты — все иные нормативные правовые акты, принимаемые Президентом РФ, Правительством РФ и органами исполнительной власти субъектов Федерации, министерствами и ведомствами, органами местного самоуправления.

- По предмету регулирования — на общие и специальные.

Общие — регулируют как экологические, так и иные общественные отношения (например, Конституция РФ).

Специальные — это акты, целиком посвященные вопросам охраны окружающей среды или ее элементов (например, закон "Об охране окружающей природной среды", Водный кодекс РФ, Федеральный закон "О животном мире" и др.).

- По характеру правового регулирования — на материальные и процессуальные.

Материальные эколого-правовые нормы устанавливают права и обязанности, а также ответственность участников соответствующих

отношений (федеральные законы "Об экологической экспертизе", "Об особо охраняемых природных территориях" и др.).

Источники экологического права процессуального характера регулируют процессуальные отношения в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Они касаются, к примеру, предоставления земель в пользование, процедуры разработки нормативов предельно допустимых воздействий на окружающую среду, проведения государственной экологической экспертизы, экологического лицензирования, защиты экологических права и интересов и т. д. (Гражданский процессуальный кодекс РСФСР; Уголовно-процессуальный кодекс РФ; Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы, утвержденное постановлением Правительства РФ от 11 июня 1996 г. и др.).

— о своем характере — на кодифицирующие и не являющиеся таковыми. К кодифицирующим актам можно отнести Закон "Об окружающей природной среде", Лесной кодекс РФ, Водный кодекс РФ, Федеральный закон "О недрах" и др.

Их отличительной особенностью является систематизация эколого-правовых норм на базе основополагающих правовых принципов путем их уточнения, ликвидации внутренних противоречий и совершенствования, развития в процессе нормотворчества.

Систему источников экологического права образуют:

- Конституция Российской Федерации;
- федеративные договоры;
- международные договоры РФ, общепризнанные принципы международного права;
- законы (конституционные и федеральные);
- указы и распоряжения Президента РФ;
- постановления и распоряжения Правительства РФ;
- конституции, уставы, законы, иные нормативные правовые акты субъектов РФ;
- нормативные правовые акты министерств и ведомств;
- нормативные правовые акты органов местного самоуправления;
- локальные нормативные правовые акты;
- правовой обычай.

Конституция РФ. При анализе Конституции РФ как источника экологического права можно выделить две группы норм: общего ха-

рактера, важных с точки зрения последовательного обеспечения охраны окружающей среды, рационального природопользования и экологической безопасности, и непосредственно экологические.

В соответствии со ст.7 Конституции Российская Федерация — социальное государство, политика которого направлена на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека. Эта норма имеет непосредственное отношение к экологическому праву, прежде всего в части обеспечения, соблюдения и защиты экологических прав каждого. "Достойная жизнь человека", которая должна обеспечиваться в социальном государстве, включает в свое содержание наряду с материальной обеспеченностью, благополучием также экологические аспекты.

Конституция устанавливает, что земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в Российской Федерации как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории (ч.1, ст.9). Это положение может оцениваться как конституционное закрепление экологической функции государства и субъектов-природопользователей. Оно содержит их обязанность обеспечить охрану окружающей среды и отдельных природных ресурсов.

Объявляя человека, его права и свободы высшей ценностью (ст.2), Конституция устанавливает, что каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением (ст.42). Одновременно с признанием субъективных экологических прав Конституция возлагает на каждого обязанность сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам (ст.58).

С учетом федеративного устройства России Конституция определяет, какие вопросы в сфере охраны окружающей среды должны быть решены исключительно на федеральном уровне и совместно Федерацией и ее субъектами. В частности, в исключительном ведении Российской Федерации находятся: установление основ федеральной политики и федеральные программы в области экологического развития; ядерная энергетика, расщепляющиеся материалы; производство ядовитых веществ и порядок их использования (ст.71). В основном вопросы природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, в том числе развитие земельного, водного, лесного законодательства, законодательства о не-

драх и охране окружающей среды, находятся в совместном ведении РФ и ее субъектов (ст.72).

Федеративные договоры. Источниками экологического права России являются следующие федеративные договоры:

- о разграничении предметов ведения и полномочий между федеральными органами государственной власти Российской Федерации и органами власти суверенных республик в составе Российской Федерации;

- о разграничении предметов ведения и полномочий между федеральными органами государственной власти Российской Федерации и органами власти краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга Российской Федерации;

- о разграничении предметов ведения и полномочий между федеральными органами государственной власти Российской Федерации и органами власти автономной области, автономных округов в составе Российской Федерации.

Договоры были подписаны 31 марта 1992 г. Они определяют предметы ведения Российской Федерации, предметы совместного ведения РФ и субъектов Федерации в области природопользования и охраны окружающей среды. Важным является положение договоров о том, что законопроекты РФ по предметам совместного ведения направляются субъектам РФ. При принятии федерального закона в Государственной думе РФ учитываются позиции субъектов Федерации.

Международные договоры РФ, общепризнанные принципы международного права. Конституция устанавливает, что общепризнанные принципы и нормы международного права и международные договоры РФ (а значит, и в сфере природопользования и охраны окружающей среды) являются составной частью ее правовой системы.

Одновременно закрепляется примат норм международного права над национальными. Если международным договором РФ установлены иные правила, чем предусмотренные законом, то применяются правила международного договора (ч.4, ст.15).

Законы (конституционные и федеральные). Закон является средством закрепления государственной экологической политики и принимается органом представительной ветви государственной власти по поводу определения политики государства в сфере взаимодействия общества и природы.

Главным законом экологического права России как отрасли является принятый 10 января 2002 г. закон "Об охране окружающей

природной среды", который пришел на смену утратившему силу закону "Об охране окружающей природной среды" 1991 г. Это означает, что в вопросах охраны окружающей среды нормы других законов не должны противоречить данному законодательному акту.

Закон определил правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Он регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации.

Дальнейшее развитие в законе 2002 г. получили такие новеллы российского экологического законодательства, как определение эколого-правового статуса граждан через регулирование их экологических прав и обязанностей, создание экономического механизма охраны окружающей среды, регулирование государственной экологической экспертизы, ответственности за экологические правонарушения и возмещения вреда, причиненного экологическими правонарушениями.

Для устранения имевших место противоречий между законом 1991 г. и иными специальными законодательными актами новый закон 2002 г. прибегает в ряде своих разделов к отсылочным нормам (например, раздел об экологической экспертизе).

В систему экологического законодательства входит ряд других законов, включая:

- закон РСФСР "Об охране атмосферного воздуха" от 14 июля 1982 г.;
- Земельный кодекс РФ от 30 октября 2001 г.;
- Федеральный закон "О недрах" от 8 февраля 1995 г.;
- Лесной кодекс Российской Федерации от 29 января 1997 г.;
- Федеральный закон "О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах" от 23 февраля 1995 г.;

- Федеральный закон "Об особо охраняемых природных территориях" от 14 марта 1995 г.;
- Федеральный закон "О животном мире" от 24 апреля 1995 г.;
- Водный кодекс РФ от 16 ноября 1995 г.;
- Федеральный закон "Об экологической экспертизе" от 23 ноября 1995 г.

Наряду с названными законами важную роль в охране окружающей среды играют законы, являющиеся источниками других отраслей российского законодательства:

- Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21 ноября 1995 г.;
- закон РФ "О защите прав потребителей" (в ред. Федерального закона от 9 января 1996 г.);
- закон РФ "О стандартизации" от 10 июня 1993 г.;
- закон РФ "О сертификации продукции и услуг" от 10 июня 1993 г.;
- закон РФ "О градостроительстве в Российской Федерации" от 14 июля 1992 г.;
- Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" от 21 декабря 1994 г.
- Федеральный закон "О лицензировании отдельных видов деятельности" от 13 июля 2001 г. и др.

Указы и распоряжения Президента РФ. Нормотворческая компетенция Президента России предусмотрена ст.90 Конституции РФ, согласно которой Президент РФ принимает акты в форме указов и распоряжений. Указы и распоряжения главы государства обязательны для исполнения на всей территории России. Как подзаконные акты они не должны противоречить Конституции РФ и федеральным законам.

К числу указов и распоряжений Президента, регулирующих экологические правоотношения, относятся:

- Указ от 4 февраля 1994 г. "О государственной стратегии РФ по охране окружающей природной среды и обеспечению устойчивого развития";
- Указ от 1 апреля 1996 г. "О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию";
- Указ от 2 октября 1992 г. "Об особо охраняемых территориях Российской Федерации";

— распоряжение от 26 июня 1995 г. "Вопросы государственного надзора за ядерной и радиационной безопасностью" и др.

Постановления и распоряжения Правительства РФ. В соответствии со ст.115 Конституции РФ Правительство издает постановления и распоряжения на основании и во исполнение Конституции РФ, федеральных законов, нормативных указов Президента РФ. Это означает, что Правительство может создать норму права лишь в рамках делегированного нормотворчества, когда необходимость принятия правительственного постановления или распоряжения вытекает из актов более высокого иерархического уровня. Постановления и распоряжения Правительства в случае их противоречия Конституции, федеральным законам и указам Президента могут быть отменены Президентом РФ (ст.115).

Конституции, законы, иные нормативные правовые акты субъектов РФ.

Субъекты РФ осуществляют собственное правовое регулирование, природопользование и охрану окружающей среды с учетом политических, социально-экономических, природно-климатических, экологических, исторических и иных особенностей региона.

В случае противоречия между федеральным законом и иным актом, изданным в Российской Федерации, действует федеральный закон.

Нормативные правовые акты принимаются субъектами РФ в разных формах. В республиках-субъектах РФ — это конституции. Законодательные акты принимаются в форме уставов (например, Устав города Москвы), кодексов (Земельный кодекс Республики Карелия, Экологический кодекс Башкортостана), законов, уложений. Органы исполнительной власти принимают указы, постановления, распоряжения.

В рамках достаточно широко распространенной практики заключения соглашений о взаимной передаче своих полномочий (ст.78 Конституции РФ) между Российской Федерацией и ее субъектами, имеются многочисленные примеры договоров в сфере природопользования и охраны окружающей среды (между Правительством РФ и правительствами Башкортостана, Свердловской области и др.).

Нормативные правовые акты министерств и ведомств. В пределах своей компетенции министерства и ведомства вправе принимать обязательные для исполнения акты. При этом акты специально уполномоченных государственных органов в области природопользования

и охраны окружающей природной среды, наделенных неведомственной компетенцией, являются обязательными для других министерств и ведомств, юридических и физических лиц, общественных учреждений. Акты министерств и ведомств, осуществляющих отраслевое управление, обязательны для исполнения в пределах соответствующей области. Примером нормативного правового акта специально уполномоченных государственных органов в области природопользования и охраны окружающей среды может служить Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации, утвержденное приказом Минприроды России от 18 июля 1994 г.

Нормативные правовые акты органов местного самоуправления. Согласно ст. 7 закона "Об охране окружающей среды" 2002 г., полномочия органов местного самоуправления в сфере отношений, связанных с охраной окружающей среды, определяются в соответствии с федеральными законами. Федеральный закон "Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации" к ведению местного самоуправления отнес принятие и изменение уставов муниципальных образований, обеспечение санитарного благополучия населения, регулирование планировки и застройки территорий муниципальных образований, благоустройство и озеленение территории, организация утилизации и переработки отходов, участие в охране окружающей среды.

Локальные нормативные правовые акты. Локальными называются нормативные акты, которые принимаются на предприятиях и становятся источниками экологического права при условии, что они санкционированы государством. Локальные акты подразделяются на акты общего и специального характера.

Локальные акты общего характера — уставы предприятий, коллективный договор, правила внутреннего трудового распорядка. В уставах, например, содержатся нормы относительно правового режима имущества и земли, организации управления, включая сферу природопользования и охраны окружающей среды.

Специальные локальные акты — планы организационно-технических мероприятий по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов, должностные инструкции и др. Действие эколого-правовых норм, содержащихся в локальных нормативных актах, ограничено рамками предприятия.

Правовой обычай. Обычай имеет большое практическое значение в регулировании использования природных ресурсов в контексте

традиционного природопользования. Так, Конституция РФ (ст.72) выделяет защиту исконной среды обитания малочисленных этнических общностей как самостоятельный предмет ведения. Регулирование отношений по использованию природных ресурсов с учетом традиционного природопользования предусматривается Водным кодексом РФ (ст.66), Лесным кодексом РФ (ст.124), Федеральным законом "О животном мире" (ст.9, 48, 49).

Таким образом, обычай как источник права применяется на практике.

История развития экологического права

В науке экологического права развитие рассматриваемой отрасли принято делить на три периода: до 1917 г., советский период и современный.

Период до 1917 г. В средневековой Руси охрана природных ресурсов осуществлялась через защиту прав собственности, экономических, военных и налоговых интересов государства. В "Русской правде" 1016 г., например, предусматривалась охрана общинной собственности, включавшей в себя среди прочего лесные массивы и собственности князя, запрещала кражу дров, предусматривала штраф за порчу дупла, наполненного сотами с медом.

Соборное уложение 1649 г. рассматривало ловлю рыбы в чужом пруду, бобров и выдр как кражу имущества и предусматривало наказание: в первый раз — битие батогами, во второй — кнутом, в третий — отрезание уха. Широко применялась смертная казнь.

С XVII века, когда появилась потребность не только в регулировании добычи объектов животного мира, но и их сохранения, стали регламентироваться способы добычи и размеры добываемых видов. Также было введено ограничение права собственности на природные объекты и права пользования ими в интересах государства, а позже и третьих лиц. Так, Петр I запрещал своими указами уничтожать леса вдоль рек, удобных для лесосплава. Некоторые особо ценные леса и деревья объявлялись заповедными.

Если требования по природопользованию и охране объектов живой природы осуществлялись изначально в рамках института права собственности, то требования по охране воздуха, воды и общественных мест от загрязнения получили развитие в законодательстве, которое позже стало называться санитарным.

Советский период. В социалистической России право в области природопользования и охраны окружающей среды развивалось главным образом применительно к отдельным природным ресурсам — земле, ее недрам, водам, лесам, атмосферному воздуху, животному миру.

В начале 20-х гг. XX века был принят ряд законов и директив Правительства, включая:

- Земельный кодекс РСФСР 1922 г.;
- Лесной кодекс РСФСР 1923 г.;
- декрет СНК РСФСР "О недрах земли" 1920 г.;
- Постановление ЦИК и СНК СССР "Об основах организации рыбного хозяйства Союза ССР" 1924 г.;
- декрет СНК РСФСР "Об охоте" 1920 г.;
- декрет СНК РСФСР "Об охране памятников природы, садов и парков" 1921 г.;
- декрет СНК РСФСР "О санитарной охране жилищ" 1919 г. и др.

Проблема охраны природы от загрязнения оценивалась в этот период в основном как санитарная, а не экологическая. Только в 70-е гг. XX века применительно к водам и в 80-е гг. применительно к атмосферному воздуху проблемы охраны окружающей среды от загрязнения стали оцениваться и регулироваться как экологические.

Именно в этот период формируется основной массив природо-ресурсного законодательства (1970-1982 гг.), в который вошли:

- Земельный кодекс РСФСР 1970 г.;
- Водный кодекс РСФСР 1972 г.;
- Кодекс РСФСР о недрах 1976 г.;
- Лесной кодекс РСФСР 1978 г.;
- Закон РСФСР "Об охране атмосферного воздуха" 1982 г.,
- Закон РСФСР "Об охране и использовании животного мира" 1982 г.

Основное внимание в природо-ресурсном законодательстве уделялось регулированию использования земель, вод, лесов, других природных ресурсов. За исключением закона "Об охране атмосферного воздуха" отношения по охране соответствующего природного объекта от загрязнения регулировались фрагментарно. Это объясняется отчасти тем, что в конце 60-х — начале 70-х гг., во время разработки и принятия перечисленных законов, проблема охраны окружающей среды от загрязнения в России не была достаточно осознана высши-

ми органами государства и КПСС, которые в принципе отрицали возможность существования при социализме антагонистических противоречий между обществом и природой, а следовательно, и необходимость целенаправленной государственной природоохранной политики.

Правда, 27 октября 1960 г. был принят закон РСФСР "Об охране природы в РСФСР", который содержал статьи по охране земель, недр, вод, лесов и иной растительности, животного мира. Однако заметной роли в регулировании природопользования и охраны природы этот закон не сыграл. Он не содержал эффективных природоохранных мер, механизма обеспечения их выполнения и не предусматривал мер юридической ответственности за нарушение собственных положений.

В системе источников экологического права в этот период преобладали не законы, а подзаконные акты в виде постановлений Правительства СССР и РСФСР, ведомственных правил и инструкций.

Забота об охране природы и лучшем использовании природных ресурсов была признана на сессии Верховного Совета СССР в сентябре 1972 г. одной из важнейших государственных задач. При этом мероприятия по дальнейшему усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов поручалось разработать Правительству СССР. Эти мероприятия впоследствии были предусмотрены не в законах, а в совместном постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов" от 29 декабря 1972 г. Наряду с требованиями о развитии экологического нормирования, мониторинга окружающей среды, с другими мерами это постановление предусматривало необходимость обязательного планирования мероприятий по охране природы и природопользованию в системе государственных планов социального и экономического развития. План охраны природы, утвержденный соответствующим представительным органом, становился юридически обязательным.

1 декабря 1978 г. было принято еще одно совместное Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР — "О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов". Постановление предусматривало новую форму предпланового документа — территориальную комплексную схему охраны природы.

В конце 80-х гг. ЦК КПСС и Правительство СССР поняли, что основными причинами резкого ухудшения состояния окружающей

среды в стране являлись слабое правовое регулирование природопользования и охраны окружающей среды, несовершенная организация государственного управления в этой сфере, остаточный принцип финансирования природоохранительной деятельности, отсутствие у предприятий экономических стимулов к рациональному использованию природных ресурсов и охране природы от загрязнения. 7 января 1988 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли Постановление "О коренной перестройке дела охраны природы в стране".

Среди директив, принятых этим Постановлением, наиболее важными являются:

- консолидация государственного управления природопользованием и охраной окружающей среды путем образования Государственного комитета СССР по охране природы (на основе подразделений природоресурсных министерств и ведомств, которые дублировали друг друга);

- совершенствование экономического механизма, обеспечивающего эффективное использование и охрану природных богатств (прежде всего путем регулирования платы за природные ресурсы и загрязнение окружающей среды);

- подготовка проекта Закона СССР "Об охране природы".

В этом же году было принято решение о всеобщей экологической "паспортизации" предприятий промышленности и сельского хозяйства.

По причине распада осуществить указанные директивы в рамках Советского Союза не удалось. Считается, что основным общим недостатком российского законодательства в социалистический период помимо существенных пробелов было отсутствие в нем работающего механизма обеспечения реализации норм.

Современный период России. На современном этапе, начало которого совпадает с началом 90-х гг., экологическое право развивается с учетом следующих факторов:

- кризисного состояния окружающей среды в стране и общественных потребностей в восстановлении благоприятной окружающей среды;

- дефектов, фрагментарности и пробельности существующего экологического законодательства;

- перехода на рыночные отношения в экономике и, как следствие, перемещения центра тяжести с государственного управления

природопользованием и охраной окружающей среды на рыночные инструменты решения экологических проблем;

— перспектив создания правового и социального государства;

— мирового опыта в регулировании взаимоотношений общества и природы посредством внутреннего и международного экологического права.

При этом обращает на себя внимание предлагаемое официальными лицами определение государственной экологической политики России: "это деятельность, направленная на создание системы институтов и осуществление мероприятий по обеспечению экологической безопасности населения и сохранения жизнеобеспечивающих функций биосферы. Государственная экологическая политика должна быть основана на каких-то принципах. С одной стороны, на научных экологических принципах, а с другой стороны, — на практике государственного управления, на практике социально-экономического развития России".

Такое определение государственной экологической политики позволило некоторым депутатам Государственной думы назвать ее антиэкологической, а ученым обратить внимание на нежелание российских законодателей должным образом учитывать опыт мирового сообщества, в частности, нормы международного экологического права.

Доказательством последнего могут служить следующие принципы, лежащие в основе формирования государственной экологической политики России:

— принцип необходимости охраны окружающей природной среды как принцип политики;

— принцип неистощительного использования и восстановления природных ресурсов;

— принцип предосторожности, из которого вытекает обязательность экологической экспертизы;

— принцип сохранения биологического разнообразия;

— принцип независимости государственного контроля за природопользованием;

— принцип воспитания экологического мировоззрения.

Не вдаваясь в содержание каждого из этих принципов и их достаточность, отметим их очевидное расхождение с теми специальными принципами, которые существуют в международном экологическом праве.

Экологические права граждан

Экологические права граждан — центральный институт современного российского экологического права. Признание этих прав можно рассматривать как одну из наиболее существенных тенденций развития российского экологического права. Закрепление в ст.42 Конституции РФ права каждого на благоприятную окружающую среду и других субъективных экологических прав важно прежде всего с точки зрения вовлечения граждан в механизм охраны окружающей среды, обеспечения общественного контроля за природоохранной деятельностью государственных органов и предприятий.

Ранее, до принятия Конституции РФ, в законе "Об охране окружающей природной среды" 1991 г. было закреплено право граждан на охрану здоровья от неблагоприятного воздействия окружающей природной среды, вызванного хозяйственной или иной деятельностью (ст.11). В соответствии с этим законом это право должно было обеспечиваться планированием и нормированием качества окружающей природной среды, мерами по предотвращению экологически вредной деятельности и оздоровлению окружающей природной среды, предупреждению и ликвидации последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; возмещением в судебном или административном порядке вреда, причиненного здоровью граждан в результате загрязнения окружающей природной среды и иных вредных воздействий на нее, в том числе последствий аварий и катастроф; государственным контролем за состоянием окружающей среды и соблюдением природоохранительного законодательства, привлечением к ответственности лиц, виновных в его нарушении.

Положения, закрепляющие право человека на благоприятную окружающую природную среду, стали появляться на уровне новых конституций (в новых редакциях старых) либо в экологическом законодательстве под влиянием активной разработки данного института в международном экологическом праве.

Сегодня лишь немногие государства мира включили в свои основные законы — Конституции — упоминание об основном праве человека на благоприятную окружающую среду (Германия, Дания, Финляндия, США и их отдельные штаты, Испания, Португалия, Южная Корея). Так, ст.10 Конституции Португалии закрепляет право каждого гражданина на здоровье и сбалансированную окружающую среду. Неясен, правда, смысл, вкладываемый законодателем в понятие "сбалансированная окружающая среда". Но можно предположить,

что он близок к смыслу термина "благоприятная окружающая среда" в его современном понимании.

При тщательном рассмотрении национального законодательства этой немногочисленной группы стран, провозгласивших право на благоприятную окружающую природную среду в своих основных законах, обращает на себя внимание тот факт, что предусматриваемая этими государствами техника обеспечения такого права отличается большим разнообразием.

В одних случаях сами конституции содержат в себе специальные экологические гарантии. В других — такие гарантии соединены с иными основными правами. В третьих — предусматривается использование основных прав в интересах защиты окружающей среды. Четвертая группа конституций увязывает основы экологической политики государственных учреждений и ведомств с защитой окружающей индивида природной среды.

В этой связи возникает вполне уместный вопрос: почему законодатель проявляет столь большую осторожность в деле закрепления этого субъективного права на конституционном уровне?

Причин здесь может быть несколько. Одна из них — недостаточная определенность самого понятия "благоприятная окружающая среда", общий характер критериев оценки качества окружающей среды, зафиксированных в Стокгольмской декларации 1972 г. и Декларации Рио 1992 г., что затрудняет суждение об объеме и содержании субъективного права человека на благоприятную окружающую среду и гарантирование в максимально полном объеме этого права. Они могут быть достаточны для формального провозглашения права человека на благоприятную окружающую природную среду. Но эти критерии не позволяют делать юридически значимые выводы в рамках национальных правовых систем.

Как известно, право граждан на благоприятную окружающую среду относится к категории субъективных прав.

В теории права признается, что субъективное право (то есть право, принадлежащее тому или иному субъекту) представляет собой единство трех возможностей:

— во-первых, вид (и объем) возможного поведения самого обладателя субъективного права;

— во-вторых, возможность требовать соответствующего поведения (совершения известных действий или, напротив, воздержания от действий) от других (обязанных) лиц;

— в-третьих, возможность прибегнуть в необходимых случаях к содействию государственного аппарата для осуществления второй возможности.

Ограниченность, а тем более отсутствие любой из этих возможностей делает ущербным то или иное субъективное право, порождает лишь видимость в обеспечении личности определенными социальными благами.

В свете этих обстоятельств встает вопрос о соразмерности, сбалансированности отражения в национальном законодательстве прав и обязанностей человека в области охраны окружающей природной среды, поскольку активность личности в исполнении обязанностей по охране природы зависит, кроме иных факторов, и от системы корреспондирующих им прав и законных интересов, степени их обеспеченности в исполнении и реализации.

Учитывая, что история признания права на благоприятную окружающую среду в качестве основного права человека формально насчитывает лишь три десятилетия, эффект от его применения, его обязывающая для государственных органов сила также различны и не всегда ясны в разных странах и правовых системах. Более того, это право во многих случаях выступает в качестве объекта ограничения, когда законодатель, не имея возможности видоизменить конституционные гарантии, пользуется своим правом ограничить и определить область применения и содержание этого права. В условиях все возрастающего воздействия человека на окружающую его природную среду в законодательстве появляются все новые и новые запреты и обязанности экологического характера, относящиеся к гражданам, которые не всегда сопровождаются соответствующим расширением их прав.

Различна также и юридическая природа правовых гарантий этого права в тех странах, которые его закрепили в своем национальном законодательстве. Например, основные права на жизнь и здоровье в Германии, Австрии и Японии выполняют только защитную функцию от вмешательства со стороны государства. А так как в этих странах до сих пор еще не было случая применения таких положений к спорам, затрагивающим экологическое право, то соответственно остается неясным вопрос о значении такой защитной функции.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что одного только факта признания права на благоприятную окружающую среду в качестве основного права человека недостаточно для эффективной

и удовлетворительной защиты эколого-ориентированных интересов индивида. Необходимо активное включение в работу по обеспечению этого права среди прочего государственных органов различного уровня и различной специальной компетенции. Это основное право должно предусматривать уважение заинтересованности индивида в благоприятном природном окружении, его право добиваться своих экологических требований посредством правовых процедур и механизмов, включающих в себя, в частности, защиту в суде или в других аналогичных инстанциях.

Для реализации конституционного права каждого на благоприятную окружающую среду закон "Об охране окружающей среды" 2002 г. предусмотрел ряд существенных полномочий граждан и общественных экологических объединений в области охраны окружающей среды.

Они включают право:

- создавать общественные объединения, фонды и иные некоммерческие организации, осуществляющие деятельность в области охраны окружающей среды;

- направлять обращения в органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, иные организации и должностным лицам о получении своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей среды в местах своего проживания, мерах по ее охране;

- принимать участие в собраниях, митингах, демонстрациях, шествиях и пикетировании, сборе подписей под петициями, референдумах по вопросам охраны окружающей среды и в иных не противоречащих законодательству Российской Федерации акциях;

- выдвигать предложения о проведении общественной экологической экспертизы и участвовать в ее проведении в установленном порядке;

- оказывать содействие органам государственной власти Российской Федерации, органам государственной власти субъектов Российской Федерации, органам местного самоуправления в решении вопросов охраны окружающей среды;

- обращаться в органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления и иные организации с жалобами, заявлениями и предложениями по вопросам, касающимся

охраны окружающей среды, негативного воздействия на окружающую среду, и получать своевременные и обоснованные ответы;

— предъявлять в суд иски о возмещении вреда окружающей среде;

— осуществлять другие предусмотренные законодательством права (ст. 11).

В соответствии со ст. 18 Конституции, права и свободы человека и гражданина являются непосредственно действующими. Они определяют смысл, содержание и применение законов, деятельность законодательной и исполнительной власти, местного самоуправления и обеспечиваются правосудием.

На практике же экологические права и интересы граждан часто игнорируются властями. Доказательством может служить строительство в Москве жилых массивов Марьино и Братеево на бывшей свалке отходов и на территории, прилегающей к ней. Центр Госкомсанэпиднадзора обобщил результаты исследований состояния здоровья жителей микрорайона Марьино и отметил высокую смертность лиц наиболее активного трудоспособного возраста (40–49 лет), высокие уровни разных болезней у детей и других групп населения.

Очевидно, что не выполнили при этом свои обязанности по обеспечению соблюдения экологического права граждан Правительство Москвы, органы экологического контроля, государственного санитарного надзора, прокуратуры.

Говоря же в целом об экологических правах граждан, следует отметить, что их практическая реализация оказывается проблематичной по ряду причин. Удовлетворение этих прав и интересов граждан осложнено кризисным состоянием экономики, невозможностью, с одной стороны, обеспечить выделение достаточных финансовых и материальных средств на охрану окружающей среды, а с другой — по экономическим соображениям закрыть экологически вредные предприятия или хотя бы ограничить их деятельность. Дополнительной серьезной причиной является низкий уровень знаний экологического законодательства, правовой культуры граждан. В защите прав граждан в области охраны окружающей среды действующее законодательство отводит существенную роль судам. Однако они практически пока мало активны и мало эффективны в данной сфере.

4.2. Формы экологического управления и контроля в Российской Федерации

Система органов государственного экологического управления России является весьма разветвленной и включает в себя органы общей компетенции (Президент РФ, Федеральное собрание, Правительство РФ) и органы специальной компетенции, которые подразделяются на комплексные, отраслевые и функциональные.

В настоящее время все большую роль в России начинают играть общественные формы экологического движения: союзы, добровольные общества, фонды, организации, партии и т. д.

Экологическая экспертиза является одним из важнейших видов экологического контроля. Она может быть государственной, ведомственной, общественной и научной. Целью экологической экспертизы является предупреждение вредных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую среду и здоровье человека.

Государственная экологическая экспертиза является независимой и вневедомственной, и ее выводы обязательны к исполнению. Выводы ведомственной экологической экспертизы имеют силу внутри соответствующего ведомства. Выводы общественной экологической экспертизы имеют силу рекомендаций. Научная экологическая экспертиза проводится в научных целях по инициативе ученых.

Экологическая ответственность за причинение вреда имеет два аспекта: эколого-экономический и юридический. Эколого-экономическая ответственность выражается в общем принципе взаимодействия природы и общества: загрязнитель платит. Юридическая ответственность регулируется правово-административными методами вплоть до уголовной ответственности.

Экологический паспорт промышленного предприятия как нормативно-технический документ был утвержден и впервые введен в действие в январе 1990 г. В нем сформулированы экологические права и обязанности предприятий и хозяйственных объектов. Основой для разработки экологического паспорта промышленного предприятия являются основные показатели производства, проекты расчетов ПДВ, нормы ПДС, разрешение на природопользование, паспорта газоочистных и водоочистных сооружений и установок по утилизации и использованию отходов, формы государственной статистической отчетности и другие нормативные и нормативно-технические документы.

В экологический паспорт предприятия включены следующие сведения и показатели:

- 1) сведения об объеме и характере производства, технологии, природоохранном оборудовании, расходах сырья и выпуске продукции;
- 2) информация об объемах и видах потребляемых природных ресурсов и объемах и видах веществ, загрязняющих окружающую среду;
- 3) сведения о разрешении на выброс (изъятие) природного вещества, природных ресурсах, лимитах изъятия и нормативах выбросов по отдельным загрязнителям;
- 4) технология очистки и обезвреживания отходов, система технического контроля за выбросами;
- 5) экологическая характеристика выпускаемой продукции;
- 6) сведения о размещении отходов, а также размер санитарно-защитной зоны;
- 7) отдельно в виде справки с указанием времени, объемов и состава приводят данные о залповых выбросах в атмосферу загрязняющих веществ, об аварийных и залповых сбросах загрязняющих веществ со сточными водами, о внеплановых и аварийных случаях сброса в почву и захоронения загрязняющих веществ. На основании данных этого раздела рассчитывают величины ущерба от загрязнения атмосферы, гидросферы и почвы, а также размеры платежей за нормативные, сверхнормативные и аварийные (залповые) выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду.

4.3. Международные экологические отношения

Международные экологические отношения определяются принципами и нормами международного права. Они изложены в решениях Генеральной ассамблеи ООН, решениях Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде, а также в других документах и могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) приоритетность экологических прав человека;
- 2) суверенитет государства на природные ресурсы своей территории;
- 3) недопустимость экологического благополучия одного государства за счет другого;
- 4) экологический контроль на всех уровнях;
- 5) свободный обмен международной экологической информацией;
- 6) взаимопомощь государств в чрезвычайных обстоятельствах;

7) разрешение эколого-правовых споров мирными средствами.

Особое место в ряду объектов экологического права занимают объекты международно-правовой охраны окружающей среды. Они подразделяются на две категории:

а) международно-правовые объекты охраны, не входящие в юрисдикцию государств. К ним относятся космос, Мировой океан, Антарктида, воздушный бассейн и мигрирующие виды животных;

б) международно-правовые объекты, входящие в юрисдикцию государств. К этой категории относятся объекты, включенные в число мирового природного наследия (заповедники, национальные парки, резерваты, памятники старины); занесенные в Международную Красную книгу исчезающие и редкие животные и растения; международные реки, моря, озера (Балтийское море, река Дунай, Великие озера на границе США и Канады и т. д.).

Проблема защиты окружающей среды вызывает живой интерес многочисленных международных организаций, но ведущая роль в этом вопросе принадлежит ООН.

Генеральная ассамблея ООН определяет основные направления международной экологической политики, разрабатывает принципы взаимоотношения государств в этой области, принимает решения о проведении международных конференций ООН по проблемам окружающей среды, разрабатывает проекты международных конференций, рекомендации по охране окружающей среды, способствует развитию сотрудничества государств с целью защиты окружающей среды.

Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была учреждена в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН по проблемам окружающей среды и является головной организацией по проблемам окружающей среды. ЮНЕП были сформулированы глобальные экологические проблемы.

Организация объединенных наций по культуре, науке, образованию (ЮНЕСКО), образованная в 1948 г., также вплотную занимается проблемами охраны окружающей среды. Свою деятельность она осуществляет по нескольким направлениям:

1) руководство экологическими программами, в которых занято свыше 100 государств. Среди программ — долгосрочная программа «Человек и биосфера», международная программа по образованию в области окружающей среды и т. д.;

2) учет и организация охраны природных объектов, отнесенных к всемирному наследию;

3) оказание помощи развивающимся и другим странам в развитии экологического образования и подготовке специалистов-экологов.

Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) был учрежден в 1948 г. и является неправительственной международной организацией, представляющей более 100 стран. В его задачу входит сохранение естественных экосистем, сохранение редких и исчезающих видов животных и растений, организация заповедников, резерватов и национальных парков, а также экологическое просвещение.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) была учреждена в 1946 г. и занимается проблемами охраны здоровья человека и воздействия на него окружающей среды.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) было образовано в 1957 г. в целях обеспечения безопасности и охраны окружающей среды от радиоактивного загрязнения.

Сельскохозяйственная и продовольственная организация ООН (ФАО) была образована в 1945 г. и занимается экологическими проблемами в сельском хозяйстве: охраной и использованием земель, водных ресурсов, животного мира, биологических ресурсов Мирового океана.

Международная морская организация (ИМО) была создана в 1948 г. и решает проблемы в области морского судоходства и охраны моря от загрязнения.

Всемирная метеорологическая организация ООН (ВМО) была учреждена в 1947 г. В ее задачу входит изучение степени воздействия человека на погоду и климат планеты в целом и по отдельным регионам.

ВМО действует в рамках глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Наряду с ВМО в ГСМОС входят также ВОЗ, ФАО и ЮНЕСКО.

Система ГСМОС имеет пять действующих программ: мониторинг состояния атмосферы, перенос загрязняющих веществ на большие расстояния, программу здоровья человека, программу Мирового океана и программу возобновляемых ресурсов суши.

Наряду с ведущими международными организациями в мире действуют многочисленные международные организации, занимающиеся рядом специальных проблем. Например, Международный регистр потенциально токсичных химических веществ (МРПТХВ) соз-

дан как часть ЮНЕП и занимается изучением токсичных химических веществ, включая пестициды, и их воздействием на человека и окружающую среду. В рамках ООН работает Бюро по оказанию помощи на случай стихийных бедствий (ЮНДРО).

Все вышеперечисленные международные организации объединяют свои усилия для решения глобальных экологических проблем. В целом пути решения экологических проблем можно представить следующим образом.

Необходимо разработать международные законы природопользования, обязательные для соблюдения всеми странами.

Необходимо проводить исследования по проблемам охраны окружающей среды для разработки новых технологий и создания природоохранной техники. В формировании централизованных денежных фондов для этих целей должны участвовать все государства, но основной вклад должны внести развитые страны.

Для управления взаимодействием людей с природой необходимо разработать систему налогов и штрафов. Для решения глобальных экологических проблем необходимы системы международного контроля, включая юристов, арбитраж и другие службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек — Экономика — Биота — Среда: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : ЮНИТИ, 2007. — 495 с.
2. Алехина Г.П. Практикум по экологии и рациональному природопользованию. — Оренбург: Изд-во ОГУ, 2001. — 30 с.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф. — М.: МГФ "Знание", 1999.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Экологическая безопасность, устойчивое развитие и природоохранные проблемы. — М.: МГФ "Знание", 1999.
5. Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. — М.: Знание, 1998.
6. Бекашев К.А. Принципы и источники международного экологического права. — В кн.: Международное публичное право. Издание 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Бекашева К.А. — М.: Проспект, 1999.
7. Бринчук М.М. Экологическое право. — М., 2000.
8. Вершило Н.Д., Вершило Т.А. Целевые экологические программы и экологические фонды как инструменты планирования и финансирования в области охраны окружающей среды // Экологическое право. — 2009. — № 1.
9. Гальперин М.В. Общая экология: Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФА-М, 2006. — 336 с.
10. Гиляров А.М. Популяционная экология. — М., 1990. — 191 с.
11. Голубева Е.И. Методы диагностики состояния антропогенно трансформированных экосистем / Под ред. Д.А. Криволуцкого. — М.: Изд. геогр. фак., 1999.
12. Дубовик О.Л. Экологические преступления: Комментарий к главе 26 Уголовного кодекса Российской Федерации. — М.: Изд-во "Спартак", 1998.
13. Зверев А.Т. Экология. Практикум. — М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2004. — 176 с.
14. Копылов М.Н. Право на развитие и экологическая безопасность развивающихся стран (международно-правовые вопросы). — М.: Экон, 2000.

15. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. — Изд. 8-е. — Ростов н/Д: Феникс, 2005. — 575 с.
16. Кочкаров Р.А. Целевые программы: инструментальная поддержка. — М., 2007.
17. Крискунов Е.А. Экология. — М.: Дрофа, 1996, — 95 с.
18. Лопашенко Н.А. Экологические преступления: Комментарий к главе 26 УК РФ. — СПб.: Юридический центр Пресс, 2002. — 802 с.
19. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс: В 2 т. Т.1 Теоретические основы инженерной экологии/ Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высш. Шк., 1996. — 637 с.
20. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс: В 2 т. Т.2. Справочное пособие/ Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высш. Шк., 1996. — 655 с.
21. Марченко А.В. Экология. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2006. — 332 с.
22. Межгосударственная целевая программа ЕврАзЭС "Инновационные биотехнологии".
23. Нетребя П., Шишкин М. Целевые программы отпускают на сторону // Коммерсантъ. — 2008. 16 июня. — № 100/П(3917)
24. Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Экология. — М.: ПРИОР, 2000. — 303 с.
25. Никитин С.П., Машуков А.А. Экология: Сборник практических работ для студентов всех специальностей. — И.: МПС, 2002. — 92 с.
26. Николайкин Н.И. Экология: Учебник для вузов. — М.: Дрофа, 2005. — 622 с.
27. Промышленная экология: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В.Денисова. — М.; Ростов н/Д: МарТ, 2007. — 720 с.
28. Радкевич В.А. Экология. — Минск, Высшая школа, 1998. — 159 с.
29. Родионова И.А. Глобальные проблемы человечества: Учеб. пособ. — М.:Аспект-Пресс,1995. — 159 с.
30. Серов Г.П. Основы экологической безопасности. — М.: МНЭ-ПУ, 104с.
31. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. — СПб.: Химия, 1997. — 240 с.
32. Степановских А.С. Общая экология. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 510 с.

33. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. — 288 с.
34. Экологическое состояние территории России: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Под ред. С.А. Ушакова, Я.Г. Каца. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 128 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ — МИНИМУМ

Абиотические факторы — свойства неживой природы (климатические, водной среды, почвенные, топографические), оказывающие прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Автотрофы — организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических посредством использования энергии Солнца зелеными растениями (фотосинтез) или энергии окисления некоторых неорганических соединений отдельными видами микроорганизмов (хемосинтез).

Адаптация (экологическая) — приспособление строения и функций организмов к условиям среды.

Акклиматизация — приспособление организмов к изменившимся географическим условиям существования.

Анаэробы — организмы, живущие при отсутствии свободного кислорода.

Антропогенные факторы — факторы, возникшие в результате деятельности человека.

Ареал — область распространения систематической группы организмов — популяции, вида и т.п.

Атмосфера — газообразная оболочка планеты.

Биоген — питательное вещество.

У растений — ион или молекула, поглощаемые из окружающей среды и содержащиеся в своем составе незаменимые элементы (например, углерод, водород, азот, фосфор, сера — незаменимые элементы, а углекислый газ, вода, нитраты и аммоний, фосфаты и сульфаты — соответствующие биогены).

У животных — вещества типа аминокислот, витаминов и минеральных солей, необходимые для роста тканей и жизнедеятельности организма.

Биогеохимический цикл — круговорот химических элементов из неорганических соединений через растительные и животные организмы (органические вещества), вновь в исходное состояние.

Биогеоценоз — сложная природная система, объединяющая на основе обмена веществ, энергии и информации совокупность живых организмов (биоценоз) с неживыми компонентами среды обитания.

Биом — группа экосистем со сходным типом растительности, определяемым сходными климатическими условиями (например, пустыни, тундра, дождевые тропические леса и т.п.)

Биологическое разнообразие. В результате естественного отбора за миллиарды лет появился самый ценный ресурс планеты — *биологическое разнообразие* (биоразнообразие). Оно включает в себя два взаимосвязанных понятия: генетическое разнообразие и видовое разнообразие. *Генетическое разнообразие* — это многообразие генетических свойств у особей одного вида. *Видовое разнообразие* — это число различных видов внутри какого-либо сообщества организмов.

Биомасса — выраженное в единицах массы или энергии количество живого вещества определенной группы организмов (популяции, трофического уровня и т.п.), приходящееся на единицу площади.

Биосфера —

1) нижняя часть атмосферы, гидросфера и верхняя часть литосферы Земли, населенные живыми организмами;

2) активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов проявляется как мощный геохимический фактор планетарного масштаба;

3) глобальная экосистема Земли.

Биота — живое вещество экосистемы.

Биотическая структура — функциональное разделение организмов в экосистеме на продуцентов, консументов, детритофагов и редуцентов.

Биотические факторы — все формы воздействия живых организмов друг на друга.

Биотический потенциал — совокупность факторов, способствующих увеличению численности и области распространения популяции.

Биотоп — относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом.

Биоценоз —

1) совокупность растений, животных, микроорганизмов и грибов, населяющих участок с относительно однородными условиями жизни (биотоп), например, озеро, луг, береговую полосу;

2) сообщество взаимосвязанных организмов, обитающих на каком-либо участке суши или водоема (безразмерное понятие: биоценоз норы, биоценоз валежного дерева и т.п.).

Валентность экологическая (предел толерантности) — характеристика способности вида существовать в различных условиях среды.

Вид — совокупность особей, сходных по строению и способных скрещиваться друг с другом, давая плодовитое потомство.

Генотип — вся совокупность генов особи, определяющая ее наследственные признаки.

Гетеротрофы — организмы, питающиеся живыми органическими веществами.

Гидросфера — совокупность всех вод Земли: глубинных, почвенных, поверхностных, материковых, океанических и атмосферных.

Детрит — мертвое органическое вещество, остатки растительного и животного происхождения.

Детритофаги — в экосистеме организмы, получающие биогены и энергию за счет питания детритом.

Динамика популяций — изменения в размерах, структуре и распределении популяций как реакция на условия окружающей среды.

Дыхание клеточное — химический процесс распада органических молекул в клетке с выделением энергии, необходимой для жизнедеятельности; у большинства организмов — разложение глюкозы в присутствии кислорода до углекислого газа и воды (процесс, противоположный фотосинтезу).

Емкость экосистемы — максимальный размер популяции одного вида, который природная экосистема способна поддерживать в определенных экологических условиях на протяжении длительного времени.

Естественный отбор — процесс, в результате которого под действием природных факторов происходит вымирание наименее адаптированных к среде членов популяции и сохранение особей, наиболее приспособленных к выживанию и размножению.

Закон минимума (Либиха) — закон, согласно которому выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей, то есть жизненные воз-

возможности лимитирует тот экологический фактор, количество которого близко к необходимому организму или экосистеме минимуму и дальнейшее снижение которого ведет к гибели организма или деструкции экосистемы.

Закон толерантности (Шелфорда) — закон, согласно которому лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, а диапазон между ними определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору.

Интродукция — преднамеренный или случайный перенос особей какого-либо вида живого за пределы его ареала.

Кислотные осадки — кислотный дождь, туман, снег и другие формы атмосферных осадков с кислотностью выше нормы, то есть с pH ниже 5,6.

Климатическая экосистема — заключительная стадия экологической сукцессии; экосистема, в которой популяции всех организмов находятся в равновесии друг с другом и с абиотическими факторами.

Консументы — в экосистеме организмы, получающие энергию и биогены за счет питания другими организмами.

Коэволюция — совместное развитие человека и природы.

Лимитирующий фактор — фактор, в первую очередь ответственный за ограничение роста и (или) размножение организма или популяции.

Литосфера — верхняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю мантию.

Мутация — спонтанно возникшее изменение генов организма, меняющее его морфологические и (или) физиолого-поведенческие признаки.

Мутуализм (симбиоз) — тесная взаимосвязь двух организмов, выгодная для них обоих.

Неорганические вещества — вещества, в основе молекулярной структуры которых не лежат атомы углерода.

Ниша экологическая — положение вида в природе, включая его положение в пространстве и функциональную роль в сообществе.

Ноосфера — высший этап развития биосферы, когда разумная деятельность человека становится определяющим фактором эволюции на Земле.

Озоновые "дыры" — пространство в озоносфере Земли с заметно пониженным содержанием озона.

Озоновый экран (озоносфера) — слой атмосферы, отличающийся повышенной концентрацией молекул озона, поглощающих ультрафиолетовое излучение, губительное для живого.

Органические вещества — соединения, в основе молекулярной структуры которых лежат атомы углерода (углеводороды) и их производные.

Охрана окружающей (человека) среды — комплекс международных, государственных, региональных и местных административно-хозяйственных, технологических, политических, юридических и общественных мероприятий, направленных на обеспечение социально-экономического, культурно-исторического, физического, химического и биологического комфорта, необходимого для сохранения здоровья человека.

Парниковый эффект — повышение температуры атмосферы из-за увеличения содержания в ней углекислого и некоторых других газов, приводящего к чрезмерному поглощению воздухом теплового излучения Земли.

Пирамида экологическая — графическое отражение соотношения между продуцентами, консументами (отдельно каждого уровня) и редуцентами в экосистеме, выраженное в их численности (пирамида чисел), биомассе (пирамида биомасс) или энергии (пирамида энергий).

Пищевая (трофическая) цепь — перенос энергии и вещества в ряду живых организмов при поедании последующим элементом цепи предыдущего.

Плотоядное — животное, питающееся практически исключительно другими животными.

Популяция — группа в пределах вида с общим генофондом, особи которой населяют определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

Правило обязательности заполнения экологических ниш — пустующая экологическая ниша всегда бывает естественно заполнена.

Принцип исключения Гаузе — два вида не могут существовать в одной и той же местности, если их экологические потребности идентичны, то есть если они занимают одну и ту же экологическую нишу.

Принцип Ле Шателье — Брауна — при внешнем воздействии на систему, находящуюся в фазе устойчивого равновесия, оно смещается в том направлении, в котором эффект внешнего воздействия ослабляется.

Принцип стабильности экосистем — видовое разнообразие обеспечивает стабильность экосистем.

Продуктивность — скорость образования органического вещества.

Продуценты — в экосистеме организмы (в основном зеленые растения), использующие световую энергию для синтеза органических соединений из неорганических.

Редуценты — в экосистеме организмы, главным образом бактерии и грибы, в ходе своей жизнедеятельности превращающие мертвые органические остатки в неорганические вещества.

Сообщество — совокупность совместно проживающих популяций разных видов в пределах какого-либо естественного пространства.

Сопротивление среды — совокупность факторов, направленных на сокращение численности популяции и препятствующих ее росту и распространению.

Сукцессия — постепенная или быстрая смена видов на определенной территории в результате влияния абиотических и(или) биотических и(или) антропогенных факторов, благоприятствующих одним видам в ущерб другим.

Трофическая структура сообщества — соотношение между продуцентами, консументами, детритофагами и редуцентами в экосистеме.

Фитофаги — организмы, питающиеся растениями.

Фитоценоз — сообщество растительных организмов.

Фотосинтез — химический процесс, идущий в зеленых растениях под действием световой энергии с образованием из двуокси углерода и воды глюкозы с выделением кислорода как побочного продукта.

Хемосинтетики — организмы, образующие органические вещества с использованием химической энергии окисления некоторых неорганических соединений; относятся к продуцентам.

Экологический фактор — компонент среды обитания, оказывающий влияние на организм; выделяют абиотические, биотические и антропогенные факторы среды обитания.

Экология — наука, изучающая взаимоотношения живых организмов с окружающей средой.

Экосистема — совокупность продуцентов, консументов и детритофагов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей их средой посредством обмена веществом, энергией и информацией таким образом, что эта единая система сохраняет устойчивость в течение продолжительного времени.

Эмерджентность — наличие у системного целого особых свойств, не присущих отдельным его составляющим; возникают в результате появления у более сложно организованной системы новых функциональных связей.

*Мария Павловна ГРУШКО,
Эльвира Ивановна МЕЛЯКИНА,
Ирина Владимировна ВОЛКОВА,
Вячеслав Федорович ЗАЙЦЕВ*

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издание второе, стереотипное

Зав. редакцией
естественнонаучной литературы *М. В. Рудкевич*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1, лит. А.
Тел.: (812) 412-92-72, 336-25-09.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 19.12.17.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108 ¹/₃₂.
Печать офсетная. Усл. п. л. 14,07. Тираж 100 экз.

Заказ № 482-17.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в АО «Т8 Издательские технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.