

В.Ф. Панин, А.И. Сечин, В.Д. Федосова

ЭКОЛОГИЯ

**ОБЩЕЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ БИОСФЕРЫ И
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЫЧАГИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА; ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРИНЦИПОВ
И МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ БИОСФЕРЫ**

Томск 2006

УДК 574

Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера: Общеэкологическая концепция биосферы и экономические рычаги преодоления Глобального экологического кризиса; обзор современных принципов и методов защиты биосферы: Учебное пособие. Под ред. В.Ф.Панина. – Томск: ТПУ, 2006. – с.

В учебном пособии изложены основные закономерности функционирования экологических систем и биосферы в целом, проблемы потери биосферой стабильности и развивающегося Глобального экологического кризиса. Рассматриваются глобальные экологические проблемы: демографические, истощения природных ресурсов, энергетические, решения которых возможно при условии перехода человечества на устойчивый путь развития. Дан общий обзор принципов и методов защиты биосферы от загрязнений, организации природоохранной деятельности, в том числе, в рамках международного сотрудничества.

Пособие подготовлено на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности Томского политехнического университета, соответствует программе Министерства образования и науки Российской Федерации, и рекомендуется для студентов заочной и дневной формы обучения технических вузов.

Учебное пособие одобрено на заседании кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Томского политехнического университета.

Рецензенты:

- Плеханов Г.Ф. – профессор кафедры природопользования
Томского государственного университета,
доктор биологических наук, профессор
Гальцова В.В. – главный специалист управления
Росприроднадзора по Томской области

© Томский политехнический университет, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Экология относится к классу биологических наук, тем не менее с недавнего времени она вошла в учебные планы технических университетов и других технических и нетехнических вузов. Одновременно в учебные планы был введен целый ряд дисциплин гуманитарного и социально-экономического цикла.

Почему это произошло? Потому что пришли новые времена: роль техники и технологии в жизни общества неизмеримо возросла, а социальное неблагополучие в стране и мире не исчезло, более того, к нему добавилось все возрастающее экологическое неблагополучие. Поэтому, вводя в учебные планы экологические и новые гуманитарные, социально-экономические дисциплины, общество надеется, что будущие инженеры будут способны принимать управленческие, проектные, экономические, социально-политические решения, адекватные складывающимся кризисным явлениям и тенденциям во всех сферах жизни страны и мирового сообщества.

В самом деле, сохраняется или даже углубляется различие в уровне жизни верхних, с одной стороны, и средних и нижних слоев общества - с другой, и это не может не иметь, в конечном счете, непредсказуемых последствий для стабильности в обществе в каждой стране и для международной стабильности в целом. Но особенно мрачен контраст в уровнях жизни населения стран Европы, США, Канады, Японии и нескольких других стран ("золотой миллиард" жителей Земли), с одной стороны, и населения остальных стран (к которым, по-видимому, сегодня уже следует отнести население Российской Федерации и большинства других стран – республик бывшего СССР), составляющего практически 5 млрд. человек. Достаточно сказать, что по разным оценкам страны "золотого миллиарда" потребляют 70-80 % энергетических ресурсов планеты. При сохранении существующей логики экономических и других отношений стран "золотого миллиарда" с остальными странами такое положение - бомба замедленного действия, оно предопределяет перспективу тупикового развития цивилизации.

С другой стороны, из-за увеличения населения Земли, продолжающейся экспансии человека в природные комплексы, расширяющегося промышленного и жилого строительства, увеличения объема и разнообразия промышленного производства возрастает химическое и физическое загрязнение биосферы. Это ведет к стремительному изменению условий обитания всего живого на Земле и, соответственно, к дестабилизации иммунной и генной систем растений, животных, человека, катастрофическому возрастанию скорости исчезновения видов растений и животных и скорости распространения

различных патологий (в т.ч. врожденных) в человеческой популяции. Мнение большого числа исследователей: если не изменить сложившиеся в 18-20 веках стереотипы хозяйственно-экономической деятельности общества, то человечеству не избежать иммуно-генетической и, в целом, биосферной катастрофы.

В каком же направлении необходимо изменять механизмы хозяйственно-экономической деятельности?

Сегодня деструктивные процессы в биосфере определяют как Глобальный экологический кризис, связывая его, прежде всего, с несовершенством технологий производства товаров и услуг. В обществе сложилось устойчивое мнение: если перейти к безотходным и малоотходным технологиям, то Глобальный экологический кризис сам по себе сойдет на нет. Однако это - очень упрощенный подход к решению проблемы. Истинную сущность Глобального экологического кризиса обозначила Конференция ООН по окружающей среде и развитию (г. Рио-де-Жанейро, 1992 г.): это - кризис рыночной системы хозяйствования в её существующей форме. Ведь до самых последних 2-3-х десятилетий промышленники, финансисты, политики полагали, что "железная игра" монополий в борьбе за экономический рост, прибыль, за экономическое уничтожение конкурента - без оглядки на экологические издержки своей деятельности и самовосстановительные возможности биосферы - нормальный, здоровый режим функционирования экономики. Лейтмотивом Конференции ООН в Рио-де-Жанейро следует признать слова руководителя Института климата, экологии и энергетики ФРГ Э. фон Вайцекера: "... Рыночная экономика может погубить окружающую среду и себя, если не позволит ценам говорить экологическую правду". Эту мысль надо понимать так: чтобы преодолеть экологический кризис, необходимо переустроить весь мировой механизм хозяйствования таким образом, чтобы алгоритм его действия, прежде всего, экономического, был направлен на сохранение и улучшение окружающей природной среды. Рассмотрим это на простом примере. Многие африканские страны вынуждены в больших количествах продавать ценные породы древесины, вследствие чего быстро уменьшается площадь тропических лесов, играющих исключительную роль в балансе лесного покрова Земли по его воздействию на круговорот воды и изменение климата, в целом, на воспроизводство кислорода. Значит, в интересах всех жителей планеты эти леса необходимо сохранить, но сохранить таким образом, чтобы эти страны не лишились валютных поступлений от продажи леса. Эту частную проблему можно решить разными путями. Например, создав Всемирный Фонд защиты тропических лесов (за счет взносов всех государств) и производя из него соответствующие выплаты африканским странам, наложившим мораторий

на заготовку тропической древесины. А для европейских и американских фирм, желающих приобретать такую древесину, установить определенные квоты продаж и такие цены, чтобы на доходы от продажи леса можно было создать современные комплексные лесные хозяйства, обеспечивающие постепенное увеличение площади лесов данных пород и т.д. и т.п.

И подобным образом действовать в каждом конкретном случае, последовательно повышая стоимость природных ресурсов. Такой подход будет отрезвляющим образом действовать на потребителей природных ресурсов и направлять их усилия на поиск решений, позволяющих обойтись меньшим объемом ресурсов или перейти на другие, менее критичные для окружающей среды. Если такие решения будут найдены, то данное производство сохранится. В противном случае производство закроется, и этот акт станет выражением, говоря словами Э. фон Вайцекера, экологической правды о цене товаров или услуг данного производства.

Упомянутая Конференция ООН в Рио-де-Жанейро фактически обратилась к миру с призывом: давайте отныне каждый акт хозяйственной деятельности оценивать не только по сложившейся логике традиционного экономического анализа, но и по его (акта) экологическим издержкам; если экологические издержки по результатам такой оценки окажутся большими, то стоимость результата данной хозяйственной деятельности (товары, услуги) также будет высокой, поскольку общество потребует от предпринимателя, соответственно, высокую плату за экологические издержки. И тогда в конкуренции на рынке товаров и услуг данный товар (услуга) будет иметь мало шансов удержаться. В конкуренции победят товары и услуги, технология производства которых имеет минимальные экологические издержки и, соответственно, минимальную стоимость. Таким образом - мы продолжаем основную мысль Конференции в Рио-де-Жанейро - мы сможем реформировать рыночную экономику. Сегодня она процветает за счет "пожирания" биосферы, после реформирования она будет процветать за счет "пожирания" экологических издержек тех технологий и тех способов проживания человека в биосфере, которые сложились в "доэкологическую эпоху".

Изложенный в общих чертах подход к преодолению Глобального экологического кризиса (мы понимаем, что этот кризис одновременно и социальный, и экономический, и политический) получил название концепции устойчивого развития и находится в центре внимания международных, государственных органов, общественных движений, поскольку других значимых концепций в мире сегодня не обозначилось. Эта концепция, по-видимому, станет руководящим началом в процессе перехода к новым принципам хозяйствования человека на Земле.

Читателю понятно, что в ходе реализации концепции устойчивого развития обществом должна быть проведена небывалая по масштабам работа: в частности, необходимо будет создать мировую сеть (имеющую, скорее всего, надгосударственный характер) организаций, способных дать объективную оценку экологических издержек любого вида хозяйственной и другой деятельности, обеспечить надежное, "неотвратимое", изъятие экологического налога с предпринимателя - соответственно уровню его экологических издержек, а весь образовавшийся поток финансовых средств направить на эффективное развитие природоохранной деятельности.

Чтобы создать подобные структуры, необходимо подготовить целые армии специалистов, компетентных и в экологии, и в технологии, и в экономике, и в организационно-правовой сфере природоохранной деятельности, и во многих других смежных областях знания. Но и сами технологи, которые в последующем будут работать, положим, в области энергетики, машиностроения, химической технологии, строительства и т.д., должны быть также хорошо подготовлены во всех названных сферах, чтобы эффективно (конструктивно) взаимодействовать с экспертными налоговыми экологическими органами. В результате такого взаимодействия должен обеспечиваться быстрый прогресс в преодолении экологического кризиса.

Теперь, уважаемый читатель, мы можем обратиться к исходному пункту Введения: введение в учебные планы инженеров целого ряда новых учебных дисциплин, в частности, экологии - первый шаг в направлении, обозначенном концепцией устойчивого развития и Конференцией ООН в Рио-де-Жанейро, принявшей эту концепцию. Далее неизбежны другие изменения в учебных планах и программах учебных дисциплин - по мере принятия обществом очередных решений в ходе реализации концепции устойчивого развития.

Что же предлагается будущему инженеру в учебном пособии "Экология для инженера" для изучения учебной дисциплины, которая в учебных планах значится как "Экология"?

Пособие начинается, глава 1, с рассмотрения понятий "экология", "инженерная экология", предмета и задач экологии, истории развития экологической науки, в том числе, в России. Рассматриваются основные этапы взаимодействия общества с природой, экологические кризисы, основные понятия, используемые в экологии: окружающая среда, экосистема, экологический фактор, экологическая ниша и т.д. С позиций первого и второго начал термодинамики обсуждается феномен высокой упорядоченности энергетических процессов в организмах и экосистемах.

В главе 2 обсуждаются основы учения В.И. Вернадского о биосфере, категории экологических факторов, закономерности их действия,

адаптация организмов к действию экологических факторов, структура и динамика популяций, экосистем, их гомеостаз, сукцессия, основные принципы функционирования экосистем, естественные и антропогенные помехи в экосистемах. Первая и вторая главы - ядро учебного пособия. При их изучении студент осознает самоорганизацию среды обитания человека - биосферы - и механизм реагирования биосферы и её составных частей - биогеоценозов (экосистем) - на экологические факторы. Ключевой момент этой части пособия - представление механизма действия на экосистемы антропогенных факторов: если уровень антропогенного фактора превышает некий предел, то экосистема теряет устойчивость, деградирует и гибнет.

Наряду с традиционными вопросами общей экологии в пособии рассматриваются вопросы, вводящие читателя в круг явлений в природе и обществе, которые сегодня определяют судьбу цивилизации: все возрастающая потеря устойчивости экосистем, Глобальный экологический кризис, пути выхода из него, концепция устойчивого развития общества.

В главах 3-5 дается краткое описание современного состояния биосферы: темпы роста народонаселения Земли и пути его стабилизации, состояние основных ресурсов, проблемы энергетики, загрязнение биосферы.

В главах 6-10 обсуждается сложившийся в обществе технический и организационно-правовой инструментарий защиты окружающей среды, который предстоит перестраивать в ходе реализации концепции устойчивого развития: принципы, методы, средства инженерной защиты биосферы, принципы и методы управления природоохранной деятельностью, в том числе в рамках международного сотрудничества. Рассмотрены основы природоохранного законодательства России, управления охраной природной среды, экологической экспертизы. Даются сведения об экологическом контроле, мониторинге окружающей среды, об экологическом механизме природопользования.

Глава 1. ЭПОХА ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

1.1. Предмет и задачи экологии

Термин "экология" предложен в 1866 г. немецким биологом-дарвинистом Эрнстом Геккелем. Слово образовано от греческих "ойкос", что означает дом, жилище и "логос" - учение, наука. Таким образом, дословно экология - это наука о доме. Только "дом" здесь понимается в очень широком смысле слова как среда обитания.

В современном понимании экология - это наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания.

Предметом экологии является изучение

- законов существования и развития природы;
- закономерностей реакции природы на воздействие человека;
- предельно допустимых нагрузок на природные системы, которые
- может позволить себе общество.

Научной основой экологии является учение Чарльза Дарвина о борьбе организмов за существование. В это учение он включал не только конкуренцию организмов за жизненные ресурсы, но и их реакции на факторы окружающей среды, посредством которых живые организмы приспособляются к существованию в конкретных условиях.

Основой экологии являются такие биологические науки как физиология, генетика, биофизика, связана она и с небиологическими науками - физикой, химией, геологией, географией, математикой и др.

Экология обоснованно считается научной базой инженерной охраны окружающей среды.

В последнее время получили распространение такие понятия, как "инженерная экология", и т.п.

Под инженерной экологией понимается система инженерно-технических мероприятий, направленных на сохранение качества среды в условиях растущего промышленного производства.

Успешное решение экологических задач инженерными методами возможно лишь в том случае, если специалист владеет определенными знаниями в области экологии, позволяющими ему оценить свое производство с экологических позиций, т.е. обладает необходимым каждому экологическим мышлением.

Совершим небольшой экскурс в историю. В начале XX в. Россия в числе первых стран мира начала создание заповедников: Морицсала в Латвии (1911 г.), Лагодехи в Грузии (1912 г.), Баргузинский на Байкале и "Кедровая падь" на Дальнем Востоке (1916 г.). Даже в тяжелые годы

гражданской войны были созданы такие заповедники, как Астраханский (1919 г.) и Ильменский на Урале (1920г.). Был организован комитет по заповедникам, к обсуждению проектов создания заповедной сети привлекались крупнейшие специалисты, такие как, например, П.П. Семенов-Тянь-Шанский. Уровень развития отечественной экологии был чрезвычайно высок. Достаточно упомянуть имя В.И. Вернадского, развившего учение о биосфере. Гениальный московский эколог Г.Ф. Гаузе в возрасте 19-24 лет провел серию классических экспериментов по изучению борьбы организмов за существование. Монография его впервые вышла в США в 1934 г. и неоднократно переиздавалась за рубежом в серии "Классики науки". Уровень отечественной экологии тогда был таков, что теперь в США по этому разделу истории советской науки защищают диссертации, пишут монографии. В 1988 г. профессор Аризонского университета Дуглас Уинер опубликовал книгу по истории охраны природы в СССР в 20-40-х годах. Он открыл для нас мировой приоритет нашей науки в развитии теории охраны природы. Тогда работали такие классики экологии, как В.Н. Беклемишев, Д.Н. Кашкаров, Н.В. Тимофеев-Ресовский. Экология была на столь же высоком месте в мире, как и генетика при Н.И. Вавилове и, так же, как и генетика, экология была разгромлена в 1948 г. Идеолог лысенковщины И. Презент выдвинул спекулятивный лозунг о том, что нелепо охранять природу от советского человека, и вся прекрасная система заповедников была разрушена. Площадь заповедников с 0,56 % территории страны сократилось до 0,06 % - остались лишь 40 из 128 заповедников. Вплоть до 1967 г. в школах биология была заменена псевдонаукой Лысенко. Канонизировались слова И.В. Мичурина о необходимости "брать милости у природы". Прогресс ассоциировался с дымящимися трубами, тоннами извлеченного угля, выплавленной стали, миллионами киловатт электроэнергии.

Культ урбанизма и технократии, который возник в годы первых пятилеток, остается живучим и по сию пору, но все же можно с уверенностью сказать, что значение проблем охраны среды обитания осознано нашим обществом. Это видно и по общественным движениям, и по печати. Экология остро задевает интересы всех, поскольку связана с охраной здоровья нынешнего и последующих поколений.

Дальнейшее развитие цивилизации не может ориентироваться только на естественный ход событий и природную стихийную изобретательность человека. Знания, коллективный разум человечества и его целенаправленная воля становятся основными факторами, от которых будет зависеть будущее человека. Принцип покорения человеком природы должен быть заменен принципом их коэволюции (согласования). Иначе,

если человек не сменит образ жизни, защитные силы биосферы уничтожат ее разрушителя.

Биосфера в своей истории выходила из кризисных состояний. В ее составе уже возникали агрессивные формы жизни с избыточным энергетическим потенциалом, который вдруг начинал работать вразнос, разрушая среду обитания. Типичный пример - позднемезозойские рептилии. К концу мезозоя они захватили все стихии биосферы (летающие, бегающие, лазающие, плавающие). Интенсивное разрушение среды обитания, в свою очередь, привело к их масштабному сокращению. Те из них, что сохранились и дожили до современности (крокодилы, черепахи, змеи, ящерицы) - жалкая тень их бывшего разнообразия и могущества.

До самого последнего времени человеческая активность приводила к таким изменениям природной среды, которые проявлялись в характере жизни общества лишь на длительных отрезках времени - на протяжении десятков поколений люди жили практически в одних и тех же природных условиях.

Отрицательные воздействия человека на природу могли, конечно, накапливаться и приводить однажды к взрывным катастрофам. Классический пример - засоление почв в Месопотамии вследствие неумелого орошения, которое однажды, после тысячелетнего процветания, привело к гибели цивилизации Шумера. Катастрофа была столь неожиданной и носила столь всеуничтожающий характер, что даже существование этой древней цивилизации на тысячелетия было стерто из памяти человечества.

В конце неолита, т.е. на заре истории, человечество тоже пережило глобальный экологический кризис и оказалось на грани небытия - численность населения планеты сократилась, вероятно, раз в 10. Человечество спасло озарение - оно сумело выжить благодаря земледелию и скотоводству. Переход от кочевых охотничьих и собирательских общин к общинам оседлых земледельцев впервые произошел на территории современного Ближнего Востока около 12 тыс. лет назад. Это первый переломный момент в истории человечества, коренным образом изменивший характер антропогенного воздействия на природу. Вторым переломным моментом было начало использования ископаемых видов топлива и последовавшая вслед за этим индустриальная революция, которая началась в Англии в XVIII веке.

Деятельность человека стала наносить природе все больший ущерб по мере совершенствования орудий труда и роста производства.

В XX веке соотношение роли общественных и природных факторов стало особенно стремительно меняться. Глобальные изменения окружающей среды, которые мы сейчас начали осознавать - изменения, происходящие в почве, воде и атмосфере, - являются, в основном,

следствием двух веков индустриализации, а также современных потребностей и устремлений практически 6 млрд. людей. В последние годы, то есть практически за 50 лет, отделяющих нас от окончания самой страшной и кровопролитной войны, которую знало человечество, наука и техника внесли в жизнь планеты поистине удивительные изменения. Выход в космос, овладение ядерной энергией, создание мировой компьютерной сети. Каждое из этих событий могло бы составить целую эпоху в истории цивилизации, но они далеко не исчерпывают всего того, что произошло за последние 40-45 лет. Полимерные материалы, скоростные реактивные лайнеры, невиданный рост производительности труда и многое другое, что совершенно изменило характер нашей жизни - все это тоже плоды научно-технической революции.

Сразу после войны невиданными темпами началась перестройка всей технологической основы нашей цивилизации. Общество перешло в новое состояние, характеризующееся всевозрастающей скоростью появления новых научных открытий, создания новых технологий и невиданных темпов развития производительных сил. За время жизни одного поколения, условия обитания популяции *Homo sapiens* меняются весьма существенно. Сейчас даже два соседних поколения в развитых странах начинают жить в условиях, существенно отличных. И темпы научно-технического прогресса не проявляют тенденции к снижению, жизнь не стремится вернуться в русло спокойного, умеренного развития.

Мы сейчас не можем представить себе нашу жизнь без всего того, что дают нам современные научные знания и инженерное мастерство. Никогда еще цивилизация не обеспечивала человечество таким количеством благ, как теперь. Можно говорить об их неравномерном распределении, и тем не менее никогда за всю историю человечества среднестатистический земной житель не съедал столько, сколько он ест сейчас, никогда не был он обеспечен таким количеством услуг, каким он обеспечен сейчас.

Однако рост могущества цивилизации привел к многократному увеличению интенсивности антропогенного воздействия на биосферу. Судьбы человечества и природы становятся все более переплетенными. Взрывы атомных бомб в Нагасаки и Хиросиме показали, что человек в состоянии уничтожить не только города и страны, но и основу основ нашего бытия - Природу [4].

Взаимодействие общества и природы можно представить в виде схемы социального обмена веществ и энергии рис.1.1. [5].

Схема отражает изъятие из природы веществ и энергии, переработку веществ, усвоение обществом переработанных элементов природы, сброс в окружающую среду отходов. На всех этапах взаимодействия общества и

природы происходит загрязнение окружающей природной среды, которая, в свою очередь, воздействует на общество.

Ядерная война - это не единственное проявление мощности современной цивилизации, способной поставить человечество на грань катастрофы. Есть и другие действия людей, могущие привести к изменениям условий жизни на нашей планете, которые исключают всякую возможность дальнейшего существования цивилизации.

Так, например, уменьшение испарения с поверхности океана вследствие его загрязнения резко уменьшит количество осадков, а их и так

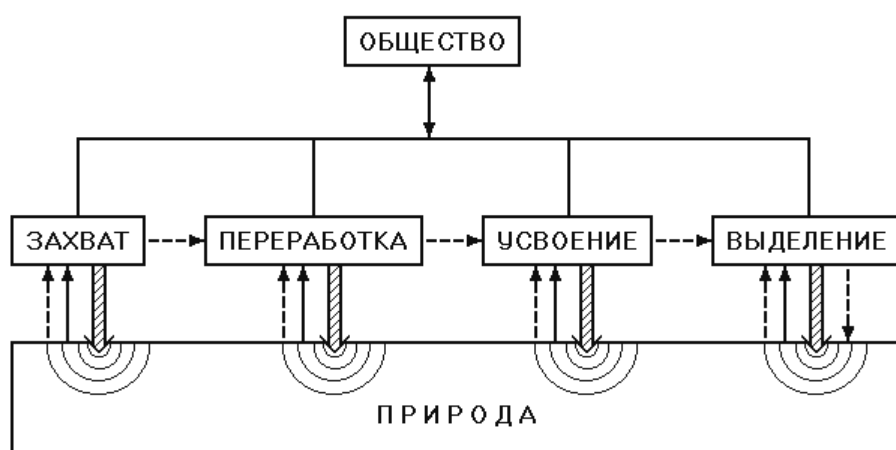


Рис. 1.1. Схема социального обмена веществ

- - поступление вещества;
- - -→ - транспортировка;
- ▨→ - отходы;
- ⊖ - загрязнения окружающей среды.

недостает больш- шинству районов планеты. А вода – это жизнь, ее уменьшение оз- начает, что люди будут обладать меньшим коли- чеством пищевых ресурсов. Их сни- жение на 20-30% при непрерывном росте населения будет иметь ка- тастрофические последствия, ко- торые трудно даже оценить.

Задумаемся еще над одним фактом. Все величие современной цивилизации - следствие того огромного количества искусственной энергии, которое стало теперь производить человечество. Мы живем не энергией Солнца, как растения и животные, а расходует запасы нефти, угля, газа, сланцев, которые накопила биосфера за сотни миллионов лет. Эти невозобновимые запасы расходуются стремительно и, если завтра источ-ники нефти и угля иссякнут, то остановятся поезда и автомобили, прекра-тится подача энергии. Остановится не только промышленное производст-во, но и резко сократится производство сельскохозяйственных продуктов.

Опасность таится и в самом количестве производимой человеком энергии. Земля получает от Солнца огромное количество энергии и сохраняет при этом примерно постоянную температуру, следовательно, приход и расход количества энергии должны быть сбалансированы, иначе система однажды потеряет устойчивость.

В действительности этот баланс не совсем точен. На Земле есть жизнь, есть растения, которые с помощью энергии Солнца создают живую материю, вступающую в бесконечный круговорот. Часть полученной Землей солнечной энергии оказывается захороненной в недрах планеты. Вся жизнь на Земле, весь процесс ее эволюции, приведший к появлению человека и общества, и жизнь самого общества долгое-долгое время происходили за счет ничтожного дисбаланса между энергией, поступающей на Землю из Космоса, и энергией, отражаемой планетой. Изменение этого дисбаланса за счет высвобождения энергии органического и ядерного топлива чревато для человека очень опасными последствиями.

Изменение теплового равновесия планеты уже начало происходить. Производимая человеком энергия рассеивается и идет на нагревание Земли, ее тверди, океана, атмосферы. Это может привести к увеличению температуры Земли, тем более, что производство энергии растет быстрыми темпами.

Увеличение средней температуры на 4–5 °С приведет к необратимому таянию ледников, повышению уровня океана на многие десятки метров и затоплению наиболее плодородных областей планеты. В результате потепления изменится весь характер атмосферной циркуляции, и большая часть оставшейся поверхности планеты превратится в засушливую полупустыню.

Таким образом, в биосфере сложились напряженные отношения между человечеством и природой, характеризующиеся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе и ресурсно-экологических возможностей биосферы. Это состояние именуется экологическим кризисом.

Приметы общепланетарного кризиса у всех перед глазами. О нем говорят и озоновые дыры, и грядущее (и наблюдающееся сейчас) глобальное потепление, и загрязнение окружающей среды, и стремительное обеднение ресурсов планеты, начиная от потери плодородия ее полей и кончая истощением ископаемых природных ресурсов.

У людей постепенно начало возникать новое представление о той реальности, которая нас окружает, люди начали понимать, что время "вседозволенности" ушло раз и навсегда, они начали осознавать, что есть некая запретная черта во взаимодействии Человека и Природы, переступать которую человечество не должно ни при каких обстоятельствах. Сегодня нельзя рассматривать независимо развитие общества и природы и решать политические и экономические проблемы, игнорируя глубокую взаимосвязанность природных и общественных процессов [7,8,9,10].

Вот почему сейчас внимание ученых во все большей степени начинает обращаться к фундаментальным проблемам современной эволю-

ции биосферы, основной причиной которых теперь становится непрерывно возрастающая нагрузка, порождаемая, прежде всего, производственной деятельностью человека. Особое значение, в связи с этим, приобретает изучение природы и человека как одного целого. Проблема выживания, сохранения биосферы может быть решена человеком путем поиска оптимальных решений, основывающихся на экологических знаниях.

1.2 Основные понятия и определения

Окружающая среда - система взаимосвязанных природных и антропогенных объектов и явлений, в которой протекает труд, быт и отдых людей.

Экологическая система (экосистема) – взаимосвязанная единая функциональная совокупность организмов и среды их обитания.

Примером экосистем могут быть пруд с растениями и живыми организмами, лес с обитателями. Сходные организмы, обитающие в неодинаковых условиях среды, образуют разные экосистемы. Например, еловый лес в Томской области и в горах Кавказа - разные экосистемы.

Для обозначения природных биосистем, занимающих определенную территорию, В.Н. Сукачевым предложен термин биогеоценоз (от "биос" - жизнь, «гео» - Земля, «ценоз» - сообщество).

Понятия "экосистема" и "биогеоценоз" близки, но не являются синонимами. Экосистемы - это безразмерные устойчивые системы живых и неживых компонентов, в которых совершается круговорот веществ и энергии. Таким образом, экосистема - это и капля воды с ее микробным населением, и лес, и горшок с цветком, и космический пилотируемый корабль. Понятие "экосистема" шире, чем "биогеоценоз", т.е. любой биоценоз является экологической системой, но не всякая экосистема может считаться биогеоценозом, причем биогеоценоз - это сугубо наземные образования, имеющие свои четкие границы.

Экосистема включает две главные составляющие: биоценоз - совокупность живых организмов и биотоп (от греч. "топос" - место) - место жизни биоценоза. Представители отдельных видов растений или животных, обитающих в данной экосистеме, образуют популяции этих видов. Например, совокупность зайцев, совокупность берез - популяцию берез и т.д.

Как мы увидим дальше, антропогенная деятельность всегда направлена на биогеоценоз (экосистемы), вне которых нет жизни на Земле. Биогеоценоз - это элементарная структурная единица биосферы, сложно организованная и развивающаяся по определенным законам, и именно с ней взаимодействует человек.

Окружающая организм среда характеризуется огромным

разнообразием, слагаясь из множества динамичных во времени и пространстве элементов, явлений, условий, которые рассматриваются в качестве факторов.

С экологических позиций среда - это природные тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных отношениях. Окружающая организм среда характеризуется огромным разнообразием, слагаясь из множества динамичных во времени и пространстве элементов, явлений, условий, которые рассматриваются в качестве факторов.

Экологический фактор - любой элемент среды, способный оказать непосредственное влияние на живые организмы и на характер их отношений друг с другом. В свою очередь, организм реагирует на экологический фактор специфическими приспособительными реакциями.

Экологические факторы среды, с которыми связан любой организм, делятся на категории:

- 1) факторы неживой природы - абиотические;
- 2) факторы живой природы - биотические;
- 3) антропогенные факторы.

Воздействие человека на окружающую среду проявляется, прежде всего, в изменении режима множества биотических и абиотических факторов зачастую за те пределы, которые отвечают экологическим требованиям живых организмов. Любому живому организму необходимы не вообще температура, влажность, минеральные и органические вещества или какие-либо другие факторы, а их определенный режим, т.е. существуют некоторые верхние и нижние границы амплитуды допустимых колебаний этих факторов. Чем шире предел какого-либо фактора, тем выше устойчивость, т.е. толерантность данного организма.

Требования того или иного организма к факторам среды обуславливают границы его распространения (ареал) и место, занимаемое в экосистеме. Совокупность множества параметров среды, определяющих условия существования того или иного вида, и его функциональных характеристик (преобразование им энергии, обмен информацией со средой и себе подобными и др.) представляет собой экологическую нишу.

Экологическая ниша - это абстрактное понятие, этот термин отражает ту роль, которую играет данный конкретный вид организмов в биогеоценозе. Чтобы дать характеристику экологической нише, необходимо знать, чем организм питается, кто его самого поедает, какова способность организма к перемещению в пространстве, какой этаж в биогеоценозе он занимает и другие особенности его взаимодействия с живыми и неживыми элементами биогеоценоза. Экологическая ниша характеризует экологические условия жизнедеятельности организмов, которые определяются как абиотическими, так и биотическими факторами.

Следовательно, в каждом биогеоценозе все виды живых организмов занимают определенные экологические ниши, расселяясь таким образом, чтобы, не мешая друг другу, наиболее полно и эффективно использовать все энергетические и материальные ресурсы. Одни виды живых организмов расселяются в верхних этажах, потребляют энергию Солнца, извлекают необходимые вещества из атмосферного воздуха и используют атмосферную влагу. Другие поселяются в почве и живут за счет энергетических ресурсов мертвого органического вещества, почвенной влаги и газов, содержащихся в порах почвы. Расселяясь таким образом, все живые организмы, находясь в тесном взаимодействии, обеспечивают существование друг друга и постоянный круговорот веществ. От разнообразия живых организмов, от числа экологических ниш будут зависеть полнота и скорость круговорота веществ в данном конкретном биогеоценозе [10, 11].

Как мы увидим далее, существование и развитие экологических систем зависит от количества энергии, поступающей в экологическую систему, скорости ее передачи через отдельные элементы системы и от интенсивности циркуляции минеральных веществ.

Как известно, энергией называется единая мера различных форм движения. Для количественной характеристики качественно различных форм движения вводятся соответствующие виды энергии: механическая, внутренняя, электромагнитная, химическая, ядерная и др. [5]. Живые существа являются уникальными природными объектами, способными улавливать энергию, приходящую из Космоса преимущественно в виде солнечного света, удерживать ее в виде энергии сложных органических соединений, передавать друг другу, трансформировать в механическую, электрическую и другие виды энергии. И все это соответствует **закону сохранения и превращения энергии** (1-е начало термодинамики), согласно которому энергия не исчезает и не создается, она только превращается из одного вида в другой или переходит от одного тела к другому, при этом ее значение сохраняется.

Второе начало термодинамики - любое действие, связанное с преобразованием энергии, не может происходить без ее потери в виде рассеянного в пространстве тепла. Другими словами - энергия любой системы стремится к состоянию, называемому термодинамическим равновесием, что равнозначно максимальной энтропии. Энтропия, таким образом, отражает возможности превращения энергии и рассматривается как мера неупорядоченности системы. Итак, часть поступающей в экологическую систему энергии теряется и не может совершать работу. Для того, чтобы энтропия системы не возрастала, чтобы существовала жизнь, необходим внешний источник энергии - излучение Солнца.

Глава 2. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Учение о биосфере и ее эволюции

Учение о биосфере Земли - одно из крупнейших и наиболее интересных обобщений современного естествознания. Оно является научной основой для исследования природных объектов и комплексного подхода при организации современного производства.

Землю нередко сравнивают с космическим кораблем, а человека - с пассажиром. В бескрайних просторах космоса, в известной нам части Вселенной, только одна Земля - планета жизни. И только на ней могут жить люди. Системой жизнеобеспечения для них является биосфера - область существования "живого вещества - совокупности живых организмов" [13].

Колыбель *Homo sapiens*, основа его физического и духовного развития, источник всех природных ресурсов - все это биосфера. И в познании законов ее эволюции и организованности лежит ключ к разумному преобразованию трудом и социальной мыслью человека.

Величие В.И. Вернадского в том, что он впервые понял и научно обосновал единство человека и биосферы.

Владимир Иванович Вернадский (1863-1945) - крупный отечественный ученый, минералог и кристаллограф, один из основоположников геохимии и биогеохимии. Основные его идеи по проблеме биосферы сложились в начале текущего столетия: он излагал их в лекциях в Париже. В 1925г. появилась статья В.И. Вернадского "Ход жизни в биосфере", а в 1926 г. вышла книга "Биосфера". Затем различные стороны учения В.И. Вернадский неоднократно рассматривал в статьях и в большой, опубликованной только через 20 лет после его смерти, монографии "Химическое строение биосферы Земли и ее окружения".

Рассмотрим некоторые самые основные положения учения В.И. Вернадского о биосфере.

В основе учения лежит представление о планетарной геохимической роли живого вещества в образовании биосферы как продукта длительного превращения вещества и энергии в ходе геологического развития Земли.

Прежде всего, В.И. Вернадский определил пространство, охватываемое биосферой Земли.

Биосфера (греч. "биос" - жизнь; "сфера" - шар) - оболочка Земли, в которой развивается жизнь разнообразных организмов, населяющих поверхность суши, почву, нижние слои атмосферы, гидросферу.

Будучи человеком щепетильным в вопросах научной этики, В.И. Вернадский неоднократно повторял, что термин "биосфера" принадлежит не ему, что впервые его еще в начале прошлого века употребил французский биолог Ж.-Б. Ламарк, разработавший первую эволюционную концепцию. Определенный геологический смысл в 1875г. вложил в термин "биосфера" австрийский ученый Э. Зюсс. Однако связанное с этим термином законченное учение создал В.И. Вернадский.

Планета Земля характеризуется наличием трех поверхностных геосфер - гидросферы, литосферы, атмосферы.

Гидросфера, или водная оболочка Земли, представлена океанами, морями, озерами, реками и искусственными водоемами. Водная оболочка покрывает около 71 % поверхности земного шара, наибольшая глубина в западной части Тихого океана достигает 11,5 км (Марианская впадина).

Литосфера, или земная кора, представляет собой внешнюю твердую оболочку земного шара мощностью в несколько десятков километров.

Атмосфера, или воздушная оболочка, состоит из нескольких слоев: тропосферы до 15 км высоты над поверхностью Земли; стратосферы, с озоновым экраном, простирающейся до 100 км высоты; ионосферы, представляющей слой разреженного газа, высотой до 500 км.

Биосфера охватывает, таким образом, верхнюю часть литосферы (до 15 км глубины), всю гидросферу и нижнюю часть атмосферы (тропосферу и нижние слои стратосферы, до 25 км высоты). Следовательно, в целом биосфера представляет слой распространения жизни мощностью по вертикали около 40 км, хотя реальные границы распространения живого более сужены.

Биосфера имеет мозаичное строение, слагаясь из экосистем, которые представляют собой уменьшенную модель биосферы. Сама же биосфера - глобальная экологическая система.

Совокупность живых организмов, населяющих биосферу, В.И. Вернадский называет живым веществом. Красной нитью в учении проходит мысль о том, что живое вещество - "функция биосферы", а биосфера - результат развития живого вещества.

В любой экосистеме живое вещество представлено тремя группами организмов:

1) автотрофы (продуценты) - самопитающиеся (от греч. "трофе" - питаюсь, "аутос" - сам, от лат. "продуцентис" - производящий).

Это растения, которые используют световую энергию, чтобы продуцировать все сложные органические соединения своего тела из простых неорганических, присутствующих в окружающей среде;

2) гетеротрофы (консументы) - питающиеся другими существами (от греч. "гетерос" - другой; от лат. "консумо" - потребляю).

К ним относятся самые разнообразные существа - от простейших до млекопитающих, включая человека. Животные, питающиеся непосредственно продуцентами, называются консументами первого порядка, или первичными. Их самих употребляют в пищу вторичные консументы. Бывают консументы более высоких порядков, причем некоторые виды соответствуют нескольким таким уровням. Первичные консументы называются растительноядными, или фитофагами. Консументы второго и более высоких порядков – плотоядные;

3) миксотрофы (редуценты) - разлагающие живые вещества (от греч. "миксис" - смешение; от лат. "редукцио" – возврат).

Эти организмы (преимущественно бактерии, грибы, простейшие) в процессе жизнедеятельности разлагают органические остатки до минеральных веществ.

Суммарная масса (биомасса) живых организмов оценивается примерно в $2,4 \cdot 10^{12}$ т.

Кроме живого вещества Вернадский различал еще 3 категории веществ, т.е. всего 4: 1) живое вещество; 2) биогенное вещество - то, что возникло из живого (каменный уголь, нефть, торф, мел); 3) биокосное вещество - преобразованная организмами неорганика (почва, осадочные породы); 4) косное вещество - все, что не имело связи с живым (застывшая лава, вулканический пепел).

В пределах биосферы существуют 4 среды жизни: две мертвые (вода, воздух), одна биокосная (почва) и одна живая (организм). Среды жизни в пределах биосферы населены монобионтами (обитателями одной среды), дибионтами (обитателями двух сред) и полибионтами (живущими в трех или четырех средах).

Процессы, протекающие в экосистеме (число живых организмов, скорость их развития и т.п.), зависят от количества энергии, поступающей в экосистему, и от циркуляции веществ в экосистеме. Биосфера является энергетически незамкнутой системой, в которой идет поглощение энергии из внешней среды.

Непрерывный поток солнечной энергии, воспринимаясь молекулами живых клеток, преобразуется в энергию химических связей (рис. 2.1). Создаваемые таким образом (например, при фотосинтезе) химические вещества последовательно переходят от одних организмов к другим: от растений к растительноядным животным, от них - к плотоядным животным первого порядка, затем второго и т.д. Этот переход рассматривается как последовательный упорядоченный поток вещества и энергии. Поток энергии в экосистемах полностью соответствует началу термодинамики. Часть потенциальной химической энергии пищи, высвобождаясь, позволяет организму осуществлять свои жизненные

функции, т.е. "работать", и параллельно теряется в виде тепла, увеличивая энтропию, которая рассматривается как мера неупорядоченности системы.

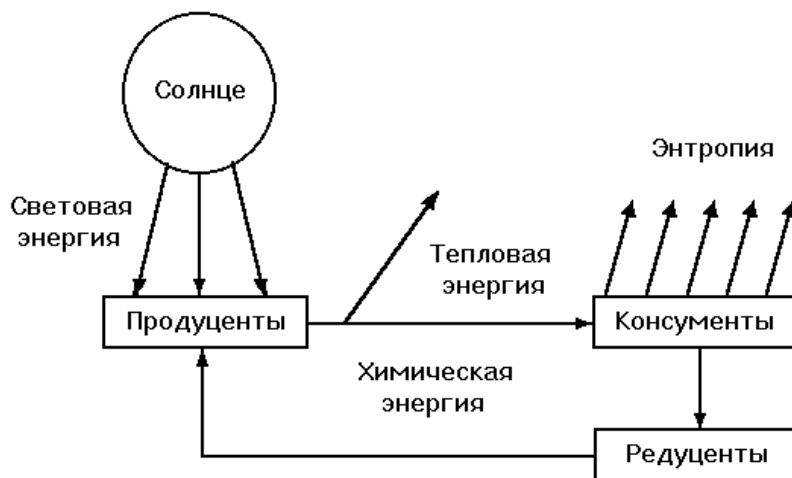


Рис. 2.1. Поток энергии в биосфере

Если бы поток солнечной энергии, поступающей на Землю, только рассеивался, то жизнь была бы невозможна, (система находилась бы в состоянии максимальной энтропии). Для того

чтобы энтропия системы не возрастала, организм или система должны извлекать из окружающей среды отрицательную энтропию - негэнтропию, т.е. работать против градиента. Для работы против градиента экологическая система должна получать энергетическую дотацию, которая и поступает в виде энергии Солнца. Живой организм извлекает негэнтропию из пищи, используя упорядоченность ее химических связей. Часть энергии теряется, расходуясь, например, на поддержание жизненных процессов, часть передается другим организмам. В начале же этого потока находится процесс автотрофного питания растений - фотосинтез, при котором повышается упорядоченность деградировавших органических и минеральных веществ. При этом энтропия уменьшается за счет поступления энергии Солнца.

Таким образом, все превращения энергии в экосистеме всегда соответствуют термодинамической модели незамкнутой системы.

За миллиарды лет своего существования биосфера прошла сложный путь развития, называемый эволюцией. На Земле широко распространены осадочные горные породы. Изучение их состава и заключенных в них органических ископаемых остатков дало возможность уже в первой половине XIX века установить определенную последовательность в их напластованиях. Были выделены слои с характерными для них останками животных и растений. Этим слоям дали наименования. По характерным горным породам были названы меловый и каменноугольный слои. Другие группы слоев получили свое название по местности, в которой их впервые обнаружили и изучили. Так появились отложения юрской, девонской, пермской, кембрийской и других систем.

Радиогеохронологический метод (исследование радиоактивного распада урана, содержащегося в минералах и горных породах, и превращения его в свинец) позволил установить начало и продолжительность каждого геологического периода. Самые древние горные породы были обнаружены в Сибири и в Австралии. Установлено, что общий возраст нашей Земли - немногим более 4,2 млрд. лет [15].

В.И. Вернадский сам не занимался проблемой возникновения жизни. Он рассматривал ее появление на Земле как некоторое "эмпирическое обобщение", т.е. как факт, данный нам в опыте - "так есть на самом деле". Вместе с тем он считал жизнь явлением космическим, не считая ее исключительной привилегией Земли [13].

В работе [16] высказываются предположения о том, что в период формирования планеты Земля извне на нее попало вещество углистых хондритов, богатое водой, за счет которой могла сформироваться гидросфера. Углистые хондриты содержат разнообразные органические соединения, в том числе нуклеотиды, аминокислоты, порфирины, образующие ядра молекул хлорофилла. Поэтому в первичных водоемах концентрация органических соединений изначально могла быть высокой.

Первые следы жизни найдены в слоях литосферы, образовавшихся около 3 млрд. лет назад.

По одной из гипотез, возникновению жизни предшествовало образование сложных органических молекул таких, как аминокислоты, которые образовались из метана, аммиака, водорода и паров воды в условиях высоких температур, ультрафиолетового излучения Солнца и повышенной вулканической деятельности [17].

Неравномерное распределение органических молекул в толще воды привело к образованию коллоидных сгущений - коацерватов ("коацерватус", лат. - собранный). Это первые предбиологические системы, которые обладали способностью к делению, избирательному поглощению веществ из окружающего раствора и могли избавляться от ненужных им соединений. Это явилось началом обмена веществ, возникновения процессов переноса энергии, обмена информацией.

В результате качественного скачка коацерватные капли приобрели способность к самовоспроизведению и превратились в простейшие живые организмы.

Следовательно, согласно рассматриваемой гипотезе, первый этап - возникновение и формирование биосферы, характеризуется развитием в гидросфере простейших водных монобионтов (гидробионтов). Это были одноклеточные прокариоты (организмы, не имеющие оформленного ядра), которые в ходе эволюции дифференцировались по разным линиям приспособления - на одноклеточных и многоклеточных, растения и

животных, особей мужского и женского пола, продуцентов, консументов и редуцентов [14].

Постепенное увеличение в воде количества кислорода за счет жизнедеятельности организмов и его диффузия в атмосферу сделали возможным быстрое распространение жизни и развитие эукариотических (обладающих оформленным ядром) клеток, что привело к эволюции более сложных живых систем.

Считается, что первые клетки с ядром появились после того, как содержание кислорода в атмосфере достигло 3-4 %, что произошло примерно 1 млрд. лет назад.

Когда содержание кислорода около 700 млн. лет назад достигло примерно 8 %, появились первые многоклеточные организмы.

Примерно 600 млн. лет назад произошел эволюционный взрыв новых форм жизни таких, как губки, кораллы, черви, моллюски, морские водоросли и др.

Таким образом, длительный период (3500 - 400 млн. лет назад) вода была главной средой жизни, а эволюция в ней дошла до высших растений и позвоночных животных.

Вторым этапом эволюции биосферы можно считать появление у гидробионтов паразитов (временных вредных сожителей) и симбионтов (постоянных полезных сожителей). Это привело к формированию второй среды жизни - организма. Явление симбиоза (и паразитоза) продолжало развиваться и с появлением новых сред жизни (воздух, почва). Некоторые "сожители" вошли в столь тесные отношения с "хозяином", что стали своеобразными "органами" его тела. Например, человек получает витамин В1 от кишечной палочки. Известно, что в ряде случаев, если нет симбионтов, не развивается иммунитет.

Третий этап эволюции биосферы - выход организмов из водной среды на сушу, где под их непосредственным влиянием сформировались новые среды жизни - воздух и почва. Около 400 млн. лет назад имели место две фазы каледонского тектонического цикла, связанного с обнажением больших площадей мелководных морских акваторий. Органические остатки морских организмов, по-видимому, и были той первичной основой, на которой могли появиться сначала земноводные, а затем и сухопутные формы растений.

Выход растений на сушу представлял собой настоящую революцию в истории биосферы, так как развитие окислительной атмосферы в результате фотосинтеза способствовало возникновению многоклеточности, обеспечило выход жизни на сушу, стало причиной появления минералов в окисленной форме. Образование почвы изменило структуру поверхностного слоя планеты, создав условия для мощного развития

растительности. Это создало предпосылки для выхода на сушу различных животных. В ископаемых остатках этого периода уже встречаются скорпионы, клещи, насекомые. Началось формирование наземных позвоночных. Некоторые амфибии приобрели способность размножаться вне воды. Появились первые пресмыкающиеся. Насекомые начали завоевывать воздушную среду. 190 - 230 млн. лет назад на суше имело место взрывное развитие пресмыкающихся. Это было время динозавров. Около 190 млн. лет назад появились первые млекопитающие, птицы.

Таким образом, около 400 - 350 млн. лет тому назад в биосфере сформировались четыре среды жизни, существующие и поныне: вода, почва, воздух и организм. На протяжении последующей истории Земли шло развитие этих сред жизни, обогащался их химический состав, возникали новые обитатели.

Особое значение в эволюции живого вещества имел переход от бесполого размножения к половому и появление живорождения. Четвертым этапом эволюции биосферы следует считать появление живорождения у животных, которое привело к возникновению принципиально нового типа дибрионных организмов: до рождения развивающихся в специальных органах тела матери, а после рождения ведущих свободный образ жизни в воде, воздухе или почве [14].

На протяжении последнего миллиона лет в биосфере появляется человек, внесший коренные изменения в ход ее дальнейшего развития. Поэтому пятым этапом эволюции биосферы следует считать социальный, когда человек из обычного биологического вида стал биосоциальным существом.

На данном этапе эволюции биосферы развивающийся человек все более активно входит в различные биоценозы и экосистемы. Он истребляет одни виды, приручает и окультуривает другие, создает новые сорта растений и породы животных. С самого начала своего разумного существования человек отличался неразумием по отношению к природе.

Сегодняшний период развития биосферы, нередко именуемый техносферой, ставит задачи срочного принятия мер по охране окружающей среды - внедрение малоотходных технологий, оборотного водоснабжения, рационального природопользования.

Шестой этап эволюции биосферы связан с ее переходом под влиянием разумной деятельности человека в состояние ноосферы (сферы Разума). Развитие жизни (биогенез), по представлениям В.И. Вернадского, пойдет по пути развития разума (ноогенеза).

В связи с развитием общества и усилением его отрицательных воздействий на биосферу, особенно с наступлением эпохи научно-технической революции, приведшей биосферу в состояние глобального

экологического кризиса, переход биосферы в ноосферу отодвинулся на неопределенное время. Техносферу не следует считать особым этапом развития биосферы, а лишь результатом воздействия человека на окружающую среду в условиях развития современного общества, задерживающего переход к ноосфере. Следует отметить, что предотвратить изменение среды невозможно, как невозможно остановить прогресс человеческого общества. Очевидно, необходимо так управлять процессами взаимоотношений между человеком и биосферой, чтобы они были взаимно выгодны и чтобы развитие общества не привело к деградации биосферы.

В.И. Вернадскому принадлежит, в частности, идея о возможности превращения человеческого общества из гетеротрофной категории в социально автотрофную. В данном случае понятие "автотрофность" означает относительную независимость человека от продуктов, создаваемых биосферой. В силу своих биологических особенностей человек не может перейти к автотрофной ассимиляции, но общество способно осуществлять так называемый автотрофный способ производственной деятельности, под которым подразумевается замена высокомолекулярных природных соединений низкомолекулярными. Идея автотрофности привлекает тем, что подобное функционирование общества может быть минимально связано с нарушением природной среды.

Дальнейшее развитие биосферы и превращение ее в ноосферу не может быть стихийным процессом, а требует четкого управления; при стихийном развитии биосферы вероятны катастрофические в ней изменения из-за появления необратимых процессов, и губительных для всего живого веществ.

Для управления процессом развития биосферы необходимы правильные представления о самих процессах ее развития. Ключевым здесь является вопрос теоретического осмысления природы глобального экологического кризиса.

В [47, 48] академик РАН Н.Н. Моисеев на основе эмпирических обобщений представил вариант видения эволюции Вселенной - универсальный эволюционизм. Принятый Н.Н. Моисеевым подход восходит к В.И. Вернадскому, который в работе «О состоянии пространства в геологических явлениях. На фоне роста науки XX столетия» (1943 г.) привел описательную модель мира в виде системы трех Больших Принципов и двадцати эмпирических обобщений.

Процеируя на человеческое общество предлагаемый эволюционно-бифуркационный механизм эволюции Вселенной, Н.Н. Моисеев определяет экологические кризисы как состояние бифуркации процесса развития человечества и, в целом, биосферы. По Н.Н. Моисееву эволюционно-бифуркационный процесс взаимодействия человечества с

биосферой является, в сущности, двигателем исторического процесса. В связи с этим Н.Н. Моисеев вводит понятие оптимально устроенного общества, то есть общества, находящегося в состоянии равновесия с биосферой. В силу стихийности процесса развития, на основе мутагенеза технология функционирования «оптимального» общества со временем «обрастает» принципами, деформирующими его, и устремляющими общество к состоянию бифуркации (взрыва, революции, нестационарности), из которого человечество выходит на новый уровень сложности структуры и функционирования общественного организма, на новый уровень разума человечества.

Переходя к рассмотрению современного состояния мирового сообщества, Н.Н. Моисеев определяет изжившим себя рыночный механизм хозяйствования, даже в его «исправленном, улучшенном» виде, каким он (рыночный механизм) представляется творцам концепции ускоренного развития [9]. Максимум того, что может дать реализация этой концепции - оттянуть «время буйства» очередного бифуркационного состояния, последствия которого непредсказуемы и в любом случае катастрофичны.

Главный шанс мирового сообщества и на этот раз благополучно выйти из экологического кризиса, не допустив его развития до «апогея бифуркации», академик Н.Н. Моисеев видит в срочном формировании человечеством системы экологических табу - экологических императивов, блокирующих развитие Глобального экологического кризиса.

Сегодня уровень потенциала Коллективного Разума человечества позволяет, по Н.Н. Моисееву, сформировать упомянутую систему экологических императивов уже в обозримом будущем. На это указывает и беспрецедентный характер Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992 г.), и инициативы различных экологических движений, подобные инициативам движения «Друзья Земли» Голландии, обозначившие систему мер, предупреждающие превышение Голландией предельных норм загрязнения биосферы и расходования невозобновимых ресурсов [49]. Этому способствует стремительно возрастающая мощь информационно-аналитической компоненты Коллективного Разума в связи с развитием компьютерной техники и информатики. Менее вдохновляющая ситуация - в части духовной компоненты человечества, замечает Н.Н. Моисеев. В этой связи он обращает внимание на огромный духовный ресурс «нормативов жизни» человечества - Ветхого и Нового заветов, основополагающих документов мировых религий Востока.

Разумеется, точка зрения Н.Н. Моисеева на процессы в биосфере дает представление лишь об одном из вариантов модели этих процессов в переходный период эволюции Земли - от биосферы к ноосфере. Но, будучи представленной здесь даже в самых общих чертах, она дает

представление о единстве, взаимоувязанности процессов в неживой и живой природе, в интеллектуальной и духовной сферах, о неоднозначности сегодняшнего ответа на вопрос о возможности управления человечеством процессами в биосфере.

2.2. Экологические факторы и их действие

Распространение организмов от одной экосистемы к другой и от одной части экосистемы к ее другой части определяется различными факторами. Для экологии представляет интерес реакция организмов на факторы среды. Влияние факторов на живое характеризуется некоторыми количественными и качественными закономерностями.

2.2.1. Закономерности действия факторов

Для разных видов условия, в которых они особенно хорошо себя чувствуют, неодинаковы. Например, некоторые растения предпочитают очень влажную почву, другие - относительно сухую. Одни требуют высокой температуры, другие лучше переносят пониженную.

Обозначим множество значений любого фактора в виде вектора, или шкалы. Жизнь возможна лишь при определенных значениях факторов, совокупность которых носит название экологического спектра [5]. Каждый вид характеризуется своим экологическим спектром.

Действие каждого фактора характеризуется наличием в пределах его общего спектра трех зон (рис. 2.2):

- 1) зоны нарушения жизнедеятельности вследствие недостатка фактора (зона минимума);
- 2) зоны нормальной жизнедеятельности (зона оптимума);
- 3) зоны нарушения жизнедеятельности вследствие избытка фактора (зона максимума).

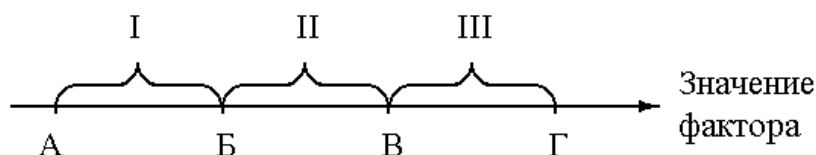


Рис. 2.2. Схема экологического спектра

А – нижняя граница жизни;
Б и В – границы нормальной жизнедеятельности;
Г – верхняя граница жизни.

I – зона минимума (зона стресса);
II – зона оптимума;
III – зона максимума (зона стресса).

При минимуме и максимуме фактора организм может жить, но не достигает расцвета (стрессовые зоны). Весь интервал значений фактора от минимального до максимального, при которых возможна жизнедеятельность организма, называют диапазоном устойчивости (толерантности).

В 1840 г. химик Юстус фон Либих, наблюдая за влиянием на растения химических удобрений, обнаружил, что ограничение дозы любого из них ведет к замедлению роста. Это позволило ученому сформулировать правило, которое носит название закона минимума Либиха.

Согласно этому закону, жизненные возможности лимитируют факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму.

Закон относится ко всем влияющим на организм биотическим и абиотическим факторам и применим и к растениям, и к животным, и к человеку.

В 1913 г. американский ученый Шелфорд показал, что не только вещество, присутствующее в минимуме, может определять жизнеспособность организма, но и избыток какого-то элемента может приводить к нежелательным отклонениям. Например, при недостатке воды в почве ассимиляция растением минеральных веществ затруднена, но и при избытке воды возникают процессы гниения, закисание почвы.

Факторы, присутствующие как в избытке, так и в недостатке (по отношению к оптимальным требованиям организма), называются лимитирующими. Правило Шелфорда получило название закона лимитирующего фактора или закона толерантности.

2.2.2. Абиотические факторы

Среди химических и физических факторов среды выделим три группы факторов: климатические, факторы почвенного покрова и водной среды.

1. Главнейшие климатические факторы:

1. Лучистая энергия Солнца.

Преимущественное значение для жизни имеют инфракрасные лучи (длина волны больше 0,76 мкм), на долю которых приходится 45 % всей энергии Солнца. В процессах фотосинтеза наиболее важную роль играют ультрафиолетовые лучи (длина волны до 0,4 мкм), составляющие 7 % энергии солнечной радиации. Остальная часть энергии приходится на видимую часть спектра с длиной волны 0,4 - 0,76 мкм.

2. Освещенность земной поверхности.

Она играет важную роль для всего живого, и организмы физиологически адаптированы к смене дня и ночи. Практически у всех

животных существуют суточные ритмы активности, связанные со сменой дня и ночи.

3. Влажность атмосферного воздуха.

Связана с насыщением воздуха водяными парами. В нижних слоях атмосферы (высотой до 2 км) концентрируется до 50 % всей атмосферной влаги.

Количество водяного пара в воздухе зависит от температуры воздуха. Для конкретной температуры существует определенный предел насыщения воздуха парами воды, который называют максимальным. Разность между максимальным и данным насыщением воздуха парами воды называется дефицитом влажности (недостатком насыщения). Дефицит влажности является важным экологическим параметром, так как характеризует две величины: температуру и влажность.

Известно, что повышение дефицита влажности в определенные отрезки вегетационного периода способствует усиленному плодоношению растений, а у некоторых насекомых приводит к "вспышкам" размножения.

4. Осадки.

Из-за конденсации и кристаллизации паров воды в высоких слоях атмосферы формируются облака и атмосферные осадки. В приземном слое образуются росы и туманы.

Влага - основной фактор, определяющий разделение экосистем на лесные, степные и пустынные. Годовая сумма осадков ниже 1000 мм соответствует стрессовой зоне для многих видов деревьев, а предел устойчивости большинства из них составляет около 750 мм/год. В то же время у большинства злаков такой предел значительно ниже - примерно 250 мм/год, а кактусы и другие пустынные растения способны расти при 50 – 100 мм осадков в год. Соответственно, в местах с количеством осадков выше 750 мм/год обычно развиваются леса, от 250 до 750 мм/год - злаковые степи, а там, где их выпадает еще меньше, растительность представлена засухоустойчивыми культурами: кактусами, полынями и видами перекати-поле. При промежуточных значениях годовой суммы осадков развиваются экосистемы переходного типа (лесостепи, полупустыни и т.д.).

Режим осадков является важнейшим фактором, определяющим миграцию загрязняющих веществ в биосфере. Осадки - одно из звеньев в круговороте воды на Земле.

5. Газовый состав атмосферы.

Он относительно постоянен и включает преимущественно азот и кислород с примесью углекислого газа, аргона и других газов. Кроме того, в верхних слоях атмосферы содержится озон. В атмосферном воздухе присутствуют также твердые и жидкие частицы.

Азот участвует в образовании белковых структур организмов; кислород обеспечивает окислительные процессы; углекислый газ участвует в фотосинтезе и является естественным демпфером теплового излучения Земли; озон является экраном ультрафиолетового излучения. Твердые и жидкие частицы влияют на прозрачность атмосферы, препятствуя прохождению солнечных лучей к поверхности Земли.

6. Температура на поверхности земного шара.

Этот фактор тесно связан с солнечным излучением. 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. Чем выше широта местности (к северу и югу от экватора), тем больше угол наклона солнечных лучей к поверхности Земли и тем холоднее климат.

Температура, так же как и осадки, очень важна для определения характера экосистемы, правда, температура играет в каком-то смысле вторичную роль по сравнению с осадками. Так, при их количестве 750 мм/год и более развиваются лесные сообщества, а температура лишь обуславливает, какой именно тип леса будет формироваться в регионе. Например, еловые и пихтовые леса характерны для холодных регионов с мощным снежным покровом зимой и коротким вегетационным периодом, т.е. для севера (Томская обл.) или высокогорий. Листопадные деревья также в состоянии переносить морозную зиму, но требуют более долгого вегетационного периода, поэтому преобладают на умеренных широтах. Мощные вечнозеленые широколиственные породы с быстрым ростом, не способные выдержать даже кратковременных заморозков, доминируют в тропиках (вблизи экватора). Точно также любая территория с годовой суммой осадков менее 250 мм представляет собой пустыню, но по своей биоте пустыни жаркого пояса существенно отличаются от свойственных холодным регионам.

7. Движение воздушных масс (ветер).

Причина ветра - неодинаковый нагрев земной поверхности, связанный с перепадами давления. Ветровой поток направлен в сторону меньшего давления, т.е. туда, где воздух более прогрет. В приземном слое воздуха движение воздушных масс оказывает влияние на все параметры: влажность, и т.д. Ветер - важнейший фактор переноса и распределения примесей в атмосфере.

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.

II. Абиотические факторы почвенного покрова

Почва - особое природное образование, обладающее рядом свойств, присущих живой и неживой природе, сформировавшееся в результате длительного преобразования поверхностных слоев литосферы под совместным воздействием гидросферы, атмосферы, живых и мертвых организмов.

Согласно определению В.Р. Вильямса, почва - это рыхлый поверхностный горизонт суши, способный производить урожай растений. Следовательно, важнейшим свойством почвы является ее плодородие, которое определяется физическими и химическими свойствами почвы.

По определению В.В. Докучаева, почва - природная среда, включающая твердые, жидкие и газообразные компоненты. 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 (рис. 2.3.)

A ₀	A ₀ - подстилка или дернина;
A ₁	A ₁ - гумусовый горизонт;
A ₂	A ₂ - горизонт вымывания (подзолистый);
B	B - горизонт вмывания (иллювиальный);
C	C - материнская порода.

Рис. 2.3. Профиль почвы

Поверхностный горизонт, подстилка или дернина, состоит большей частью из свежеспавших и частично разложившихся листьев, веток, останков животных, грибов и других органических веществ. Окрашен обычно в темный цвет - коричневый или черный. Лежащий подним гумусовый горизонт A₁, как правило, представляет собой пористую смесь частично разложившегося органического вещества (гумуса), живых организмов и некото-

рых неорганических частиц. Обычно он более темный и рыхлый, чем нижние горизонты. В этих двух верхних горизонтах сконцентрирована основная часть органического вещества почвы и корни растений. О почвенном плодородии многое может сказать ее цвет. Например, темно-коричневый или черный гумусовый горизонт богат органическими веществами и азотом. В серых, желтых или красных почвах органического вещества мало, и для повышения их урожайности требуются азотные удобрения.

В лесных почвах под горизонтом A₁ залегает подзолистый

малоплодородный 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 В - 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 С, на которой формируется почва.

Все горизонты почвы представляют собой смесь органических и минеральных элементов. Свыше 50 % минерального состава почвы составляет кремнезем (SiO_2), остальную часть могут составлять глинозем, оксиды железа, магния, калия, фосфора, кальция. Органические вещества, поступающие в почву с растительным опадом, включают углеводы, белки, жиры, смолы, дубильные вещества. Органические остатки в почве минерализуются с образованием более простых веществ (вода, диоксид углерода, аммиак и др.) или превращаются в перегной, или гумус.

Механический состав почв (содержание частиц разной величины) - одно из наиболее важных физических характеристик. Установлены четыре градации механического состава: песок, супесь, глина и суглинок. От механического состава зависят водопроницаемость почвы, ее способность удерживать влагу и др. Кроме того, каждая почва характеризуется плотностью, тепловыми и водными свойствами. Большое значение для почвы имеет насыщенность ее воздухом и способность к такому насыщению, т.е. аэрация.

Химические свойства почвы зависят от содержания минеральных веществ, которые находятся в ней в виде растворенных ионов. Кислотность или щелочность почвы представляет собой еще один фактор, определяющий наличие той или иной растительности. Почвы, имеющие рН менее 7, считаются кислыми; при рН = 7 - нейтральными, при рН выше 7 - щелочными.

Сельскохозяйственные культуры отличаются по степени толерантности к кислоте. Наиболее богата видами флора нейтральных почв. На слегка кислых почвах лучше всего растут пшеница, горох, кукуруза, томаты, на очень кислых - картофель и ягоды.

В почве обитает множество видов растительных и животных организмов, влияющих на ее физико-химические характеристики: бактерии, водоросли, грибы или простейшие одноклеточные, черви и членистоногие. Дождевые черви, личинки жуков, клещи разрыхляют почвы и этим способствуют ее аэрации. Кроме того, они перерабатывают трудно расщепляемые органические вещества.

Органические вещества вырабатываются растениями при использовании минеральных солей солнечной энергии и воды. При этом почва теряет минеральные элементы, которые растения взяли из нее. Обычно потери минеральных 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.

III. Абиотические факторы водной среды

Вода занимает преобладающую часть биосферы Земли (71 % общей площади земной поверхности).

Важнейшими абиотическими факторами водной среды являются следующие :

1. Плотность и вязкость.

Плотность воды в 800 раз, а вязкость - примерно в 55 раз больше, чем воздуха.

2. Теплоемкость.

Вода обладает высокой теплоемкостью, поэтому океан является главным приемником и аккумулятором солнечной энергии.

3. Подвижность.

Постоянное перемещение водных масс способствует поддержанию относительной гомогенности физических и химических свойств.

4. Температурная стратификация.

По глубине водного объекта наблюдается изменение температуры воды.

5. Периодические (годовые, суточные, сезонные) изменения температуры

Самой низкой температурой воды считают - 2°C, самой высокой +35 - 37°C. Динамика колебаний температуры воды меньше, чем воздуха.

6. Прозрачность воды.

Определяет световой режим под поверхностью воды. От прозрачности (и обратной ей характеристики - мутности) зависит фотосинтез зеленых бактерий, фитопланктона, высших растений, а следовательно, и накопление органического вещества.

Мутность и прозрачность зависят от содержания взвешенных в воде веществ, в том числе и поступающих в водные объекты вместе с промышленными сбросами. В связи с этим прозрачность и содержание взвешенных веществ - важнейшие характеристики природных и сточных вод, подлежащие контролю на промышленном предприятии.

7. Соленость воды.

Содержание в воде карбонатов, сульфатов, хлоридов имеет большое

значение для живых организмов. В пресных водах солей мало, причем преобладают карбонаты. Воды океана содержат в среднем 35 г/л солей, Черного моря - 19 г/л, Каспийского - около 14 г/л. Здесь преобладают хлориды и сульфаты. В морской воде растворены практически все элементы периодической системы.

8. Растворенный кислород и диоксид углерода.

Перерасход кислорода на дыхание живых организмов и на окисление поступающих в воду с промышленными сбросами органических и минеральных веществ ведет к обеднению живого населения вплоть до невозможности обитания в такой воде аэробных организмов.

9. Концентрация водородных ионов (рН).

Все гидробионты приспособились к определенному уровню рН: одни предпочитают кислую среду, другие - щелочную, третьи - нейтральную. Изменение этих характеристик может привести к гибели гидробионтов.

2.2.3. Биотические факторы

К биотическим факторам относятся [2]:

- а) фитогенные: растительные организмы;
- б) зоогенные: животные;
- в) микробиогенные: вирусы, простейшие, бактерии.

Различают следующие *категории биотических факторов* [6]:

I. **Топические** - взаимоотношения на почве совместного обитания

Это могут быть простые механические взаимодействия - явление охлестывания одних деревьев ветками других. Одни организмы используют другие в качестве субстрата: лиана обвивается вокруг дерева и сдавливает его. Одни растения живут на других: мхи, лишайники. Птицы широко используют организм в виде субстрата, например, выют гнезда на деревьях. В мире микроорганизмов наблюдается явление антагонизма - подавление развития других видов, для чего происходит образование антибиотиков (пенициллина, стрептомицина и др.) Происходит значительное изменение среды обитания - зарастание озера, превращение его в болото.

II. **Трофические** - взаимоотношения на почве питания

Растения (продуценты) создают первичное органическое вещество на Земле и обеспечивают энергией другие живые организмы. Продуценты и питающиеся ими консументы образуют два первых звена трофической цепи - цепи последовательной передачи вещества и эквивалентной ему энергии от одних организмов к другим. Не все организмы для удовлетворения своих физиологических потребностей ограничиваются

потреблением растительной пищи. Плотоядные животные используют животные белки со специфическим набором аминокислот. Они являются консументами второго порядка. Вторичный консумент может служить источником питания для консумента третьего порядка и т.д.

В процессе питания на всех трофических уровнях образуются "отходы", которые разлагаются редуцентами (еще одно звено трофической цепи) до минеральных веществ. Минеральные вещества, а также углекислый газ, выделяющийся при дыхании редуцентов, вновь возвращаются к продуцентам.

Наиболее распространенный тип взаимоотношений между живыми организмами - хищничество, которое наблюдается не только среди позвоночных животных, но и среди насекомых, червей, моллюсков, простейших, бактерий и растений.

Другой тип взаимоотношений - паразитизм в различных формах. В самом обычном случае организм - паразит постоянно живет на теле или внутри тела другого животного (хозяина). Такой паразитизм носит название истинного в отличие от периодического, при котором паразит на хозяине развивается лишь временно.

Нередко случается, что два различных вида организмов взаимодействуют таким образом, что приносят друг другу взаимную пользу. Такие взаимовыгодные межвидовые взаимодействия называются мутуализмом. Хорошим примером последнего являются азотфиксирующие бактерии, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений. Бактерии способны превращать атмосферный азот в аммонийную форму, пригодную для питания растений. Растения, таким образом, обеспечивают бактерии местообитанием и пищей (сахарами), получая от них взамен доступную форму азота.

Еще один тип межвидовых взаимодействий - комменсализм - характеризуется тем, что один из двух видов извлекает из такого взаимодействия пользу, тогда как на другом это практически никак не отражается (ни положительно, ни отрицательно). Например, в океане некоторые виды рачков селятся на челюстных костях китов. В результате такого сожительства рачки приобретают безопасное убежище и стабильный источник пищи. Для кита от такого соседства, очевидно, нет никакой пользы, но и вреда оно тоже не приносит. Известны также такие типы взаимоотношений, как форезия - перенос одних организмов (рыбы-прилипалы) другими; нейтрализм - взаимонезависимость совместно обитающих видов; синойкия - использование чужих нор и гнезд; аменсализм - один в присутствии другого не может нормально питаться и развиваться - и множество других. Все они в совокупности представляют собой сложную структуру трофических факторов.

III. *Генеративные* - взаимоотношения на почве размножения

Примером таких отношений является перекрестное опыление: ветроопыляемые и животноопыляемые растения, половой отбор у животных - борьба между самцами за обладание самкой.

К этой же категории отношений относится забота о потомстве: выкармливание, защита, обучение потомства.

Расселение видов происходит различными путями: летучки у растений, прикрепление семян к покровам животных, образование мясистых плодов, ягод и орехов, привлекающих животных, которые содействуют таким образом расселению растений.

2.2.4. Антропогенные факторы

С появлением человека на Земле естественные процессы, протекающие в окружающей среде, меняются. Антропогенный фактор – природообразующая деятельность людей, явившаяся новой движущей силой развития природы.

Вначале воздействие этого фактора проявлялось в ничтожных масштабах, но постепенно - с накоплением знаний, с использованием огня, с совершенствованием орудий труда и ростом численности населения планеты - воздействие возрастало и становилось все более ощутимым.

Первобытные племена охотников - собирателей во многом напоминали других всеядных консументов естественных экосистем. Около 12 тыс. лет назад возникло сельское хозяйство. При этом происходил процесс отбора отдельных дикорастущих видов и создания условий для того, чтобы на нем развивались преимущественно данные растения. Эти растения защищаются человеком от конкуренции (с сорняками) и потенциальных консументов, а также обеспечиваются дополнительным питанием. Происходит приручение и селекция животных, которые охраняются от хищников и получают корма для оптимального роста и развития.

Люди, таким образом, стали создавать собственную, отличную от естественных экосистему человека (антропоэкосистему). С точки зрения "мощности" (способности к росту, размножению и распространению) антропоэкосистема представляет собой исключение среди прочих. Ее возникновение позволило людям в десятки тысяч раз увеличить свою численность и расселиться по всей планете. Однако это не означает, что принцип лимитирующих факторов неприменим к экосистеме человека. Просто способность человека мыслить и изготавливать орудия труда позволила ему, хотя бы временно, преодолеть действие обычных лимитирующих факторов. Но, как писал Ф. Энгельс, разумная, по своим намерениям, деятельность людей в большинстве случаев в масштабе

биосферы оказывается не только малоразумной, но и разрушительной. Ни одна экосистема на Земле не избежала влияния человека, некоторые из них уже полностью уничтожены.

Полностью отказаться от использования природных ресурсов невозможно, но человеку надо тщательно контролировать свое воздействие на окружающую среду. Нельзя забывать, что, во-первых, даже единственный фактор, не соответствующий зоне оптимума, уже приводит к стрессу и угрозе для организма, а, во-вторых, изменение любого, биотического или абиотического, фактора вызывает цепную реакцию с далеко идущими последствиями. Современные тенденции развития ведут к изменениям условий среды в глобальных масштабах - это и кислотные дожди, и разрушение озонового экрана, и потепление климата из-за поступления в атмосферу двуокиси углерода при сжигании топлива. Наблюдается резкое изменение окружающей среды в результате загрязнения почв, водоемов, нерационального водопотребления. Большой вред естественным экосистемам наносит истребление различных видов животных и растений, а также случайная или целенаправленная интродукция видов из одних экосистем в другие.

Сейчас антропоэкосистема находится в стадии быстрого роста, существование свое человек поддерживает за счет эксплуатации водных, почвенных, энергетических и других ресурсов. Истощение их запасов может привести к социальным конфликтам, чреватым разрушением всей цивилизации.

К счастью, у человечества есть альтернативный путь, ведущий к устойчивому развитию. Важнейшей особенностью последнего должно стать признание пределов нашего выбора, ограниченного такими природными факторами, как, например, истощение ресурсов или нарушение экосистемы и проведение соответствующих мероприятий. Первые шаги в этом направлении уже делаются. К ним относятся планирование семьи, создание заповедных территорий, контроль за загрязнением среды и т.п. В дальнейшем мы подробнее остановимся на рассмотрении этих вопросов.

2.2.5. Адаптация живых организмов к экологическим факторам

Адаптации - эволюционно выработанные и наследственно закрепленные особенности живых организмов, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность в условиях динамичных экологических факторов. Другими словами, это процесс приспособления организма к определенным условиям окружающей среды.

Любой живой организм может обитать лишь там, где режимы экологических факторов соответствуют необходимым условиям. Особи, не приспособленные к данным или изменяющимся условиям, вымирают.

Рассмотрим некоторые примеры адаптаций.

I. Морфологические адаптации

Пример морфологических адаптаций - строение организмов, обитающих в воде, в частности, приспособления к быстрому плаванию у китообразных, приспособления к парению в воде у планктонных организмов. Растения, обитающие в пустынях, лишены листьев, и их строение наилучшим образом приспособлено к минимальным потерям влаги. Обитатели почвы имеют прочные покровы, кожное дыхание, вальковатую форму тела, редукцию глаз.

II. Физиологические адаптации

Эти адаптации заключаются, например, в том, что обитатели пустынь способны обеспечивать потребность во влаге путем биохимического окисления жиров. Биохимические процессы фотосинтеза отражают способность растений создавать из неорганических веществ органические в условиях строго определенного газового состава атмосферного воздуха. Состав пищи определяет особенности ферментативного набора в пищеварительном тракте животных.

III. Поведенческие адаптации

Приспособительное поведение может проявляться у хищников в процессе выслеживания и преследования добычи, а у жертв - в ответных реакциях (затаивание, например). Некоторые насекомые отпугивают хищников и паразитов резкими движениями. Существуют формы приспособительного поведения животных, направленные на обеспечение нормального теплообмена с окружающей средой: создание убежищ, передвижение с целью выбора оптимальных температурных условий, особенно в условиях экстремальных температур.

2.3. Популяция, ее структура и динамика

Все живые организмы существуют только в форме популяций. Изучение структуры и динамики популяций имеет большое практическое значение. Не зная закономерностей жизнедеятельности популяций, нельзя обеспечить разработку научно обоснованных инженерных мероприятий по рациональному использованию и охране природных ресурсов.

В общем случае популяцией называют совокупность особей одного вида, населяющих определенное пространство, внутри которого осуществляется та или иная степень обмена генетической информацией (панмиксия) [2].

Популяция, по мнению академика С.С. Шварца, дирижирует свою судьбу, дирижуя физиологическим состоянием слагающих ее индивидов. Это очень важное положение, подчеркивающее сложность внутривидовых процессов, взаимоотношений между особями, слагающими популяцию.

Каждая популяция имеет определенную структуру: возрастную (соотношение особей разного возраста), сексуальную (соотношение полов), пространственную (колонии, семьи, стаи и т.п.). Кроме того, каждая популяция, обитающая в том или ином месте, имеет определенную численность и амплитуду колебаний этой численности. Структура популяции, ее численность и динамика численности определяется экологической нишей данного вида, а именно: соответствием условий местообитания (т.е. режима факторов среды) требованиям (т.е. толерантности), слагающих популяцию организмов.

Поэтому, прямо или косвенно влияя на животный и растительный мир, человек всегда воздействует на популяции, меняет их параметры и структуру, зачастую нарушая их соответствие реальным режимам экологических факторов. В ряде случаев это может привести к гибели популяции.

Типичный пример - резкое снижение численности многих животных, которые ныне занесены в Красную книгу и рассматриваются как исчезающие или находящиеся на грани уничтожения. Их крайне низкая численность исключает возможность случайного (в статистическом смысле) скрещивания, а значит, и не дает материала для естественного отбора. Крайний случай - это уничтожение (геноцид) вида, особенно если вид состоит из одной популяции. Так произошло со стеллеровой коровой, странствующим голубем, европейским быком - туром.

Охрана природы, таким образом, должна состоять в таком сохранении режимов экологических факторов, при котором не разрушаются экологические ниши, обеспечивается нормальное функционирование популяций живых организмов, соответствие их состава и структуры конкретным условиям обитания.

Основные параметры популяции - ее численность и плотность.

Численность популяции - это общее количество особей на данной территории или в данном объеме.

В любой природной системе поддерживается та численность особей в популяциях обитающих здесь животных и растений, которая в наибольшей степени отвечает интересам воспроизводства. Режим численности зависит от постоянно действующих регулирующих (управляющих) экологических факторов.

Популяции могут быть более или менее многочисленными: у одних видов они представлены десятками экземпляров, у других - десятками

тысяч. Популяции бактерий или простейших в активном иле аэротенков (устройство для очистки сточных вод) состоят из миллиардов особей.

Численность бактерий в аэротенке или биофильтре определяет качество работы этих сооружений. В сельском и лесном хозяйстве от численности растительоядных видов зависит наносимый ими ущерб. Не зная фактической численности и состояния популяций редких и исчезающих видов, невозможно вести работу по их охране и воспроизводству.

Для того, чтобы сравнить численность одной и той же популяции в разные отрезки времени, например, в разные годы, пользуются таким относительным показателем, как плотность популяции.

Плотность популяции - численность популяции, отнесенная к единице занимаемого ею пространства или среднее число особей на единицу площади или объема.

Так, плотность популяции лося и других теплокровных животных определяется количеством особей, приходящихся на 10 тыс. га, население почвенных беспозвоночных соотносится с квадратным метром. При характеристике популяций микроорганизмов в активном иле используют количество особей в 1 см³.

Зная изменение плотности во времени или пространстве, можно установить, увеличивается или уменьшается численность особей. Динамика плотности популяций отражает сложные закономерности взаимоотношений между различными животными, между животными и растениями, поскольку все они являются биотическими факторами по отношению друг к другу. Плотность может зависеть и от колебаний абиотических факторов среды. Для каждого вида существуют оптимальные пределы плотности его популяций. Варьирование плотности в объеме каждой популяции зависит от состояния всей экологической системы.

Численность и плотность популяции - не случайные величины. Они предопределены не только режимами экологических факторов в данное время, но и всем предшествующим развитием данной популяции, предыдущих поколений в том или ином сообществе. Принято говорить, что объем популяции определяется стационарной (стация - местообитание) емкостью экосистемы для представителей популяции данного вида или емкостью места локализации экологической ниши.

Колебания численности живых организмов, населяющих ту или иную экологическую систему, имеют очень важное значение для человека, поскольку многие животные и растения являются объектами его хозяйственной деятельности или причиной какого-либо ущерба. Поэтому знание закономерностей динамики численности популяций необходимо для прогнозирования возможных нежелательных явлений и внесения в случае необходимости корректив в эту динамику с целью управления ею.

Изменение численности особей в популяции влияет на плотность. Если плотность изменяется в практически постоянном объеме стаии, увеличение численности особей возможно лишь до определенного предела, который допускает емкость экологической ниши. В конкретный момент времени численность особей в популяции отражает ее рождаемость и смертность. В зависимости от соотношения этих показателей говорят о балансе популяции. Если рождаемость выше, чем смертность, то популяция численно растет и наоборот.

Рождаемость популяции - численно выраженная способность популяции к увеличению, или количество особей, родившихся за определенный период.

Эта способность зависит от множества факторов: соотношения в популяции самцов и самок, количества половозрелых особей, плодовитости, числа поколений в году, обеспеченности кормом, влияния погодных условий и др. Низкая плодовитость, характерная для тех видов, которые проявляют большую заботу о потомстве, и, наоборот, высокая плодовитость говорит о плохих условиях выживания. Например, рыба - луна, которая совершенно не заботится о своем потомстве, откладывает порядка 300 млн. икринок. Такие заботливые родители, как горбуша и корюшка откладывают 1500 и 100 икринок, соответственно. Они охраняют икру и личинки от вредных внешних воздействий и от уничтожения ее хищниками. Некоторые насекомые способны давать 2-3 поколения в год, т.е. 2-3 раза в году откладывают яйца в количестве нескольких сотен; мышевидные грызуны, с периодом беременности около месяца и коротким периодом становления половой зрелости, дают 5-6 поколений; крупные теплокровные животные вынашивают плод несколько месяцев, достигают способности к воспроизводству на 3-4-й год и рожают всего 1-2 детенышей. Бактерии и простейшие, размножающиеся делением, повторяют этот акт многократно в течение нескольких часов.

Итак, если в популяции имеется 500 способных к размножению особей ($N_0 = 500$) и в течение 10 дней ($\Delta T = 10$) родилось 50 новых ($\Delta N_0 = 50$), то рождаемость составит $R = 50 : 10 = 5$, или в пересчете на одну особь $R = \Delta N_0 / (\Delta T \cdot N_0) = 50 / (10 \cdot 500) = 0,01$.

Смертность популяции (С) - это количество особей, погибших за определенный период.

Она бывает очень высокой и изменяется в зависимости от условий среды, возраста и состояния популяции. У большинства видов смертность в раннем возрасте всегда бывает выше, чем у взрослых особей. Однако встречаются и такие виды, у которых смертность приблизительно одинакова во всех возрастах или преобладает у особей старших возрастов (рис. 2.4.).

Факторы смертности очень разнообразны. Она может быть вызвана влиянием абиотических факторов (низкие и высокие температуры, ливневые осадки и град, избыточная и недостаточная влажность и др.), биотическими факторами (отсутствие корма, инфекционные заболевания,

враги и т.д.), в том числе и антропогенными (загрязнение окружающей среды, уничтожение животных, вырубка деревьев и др.).

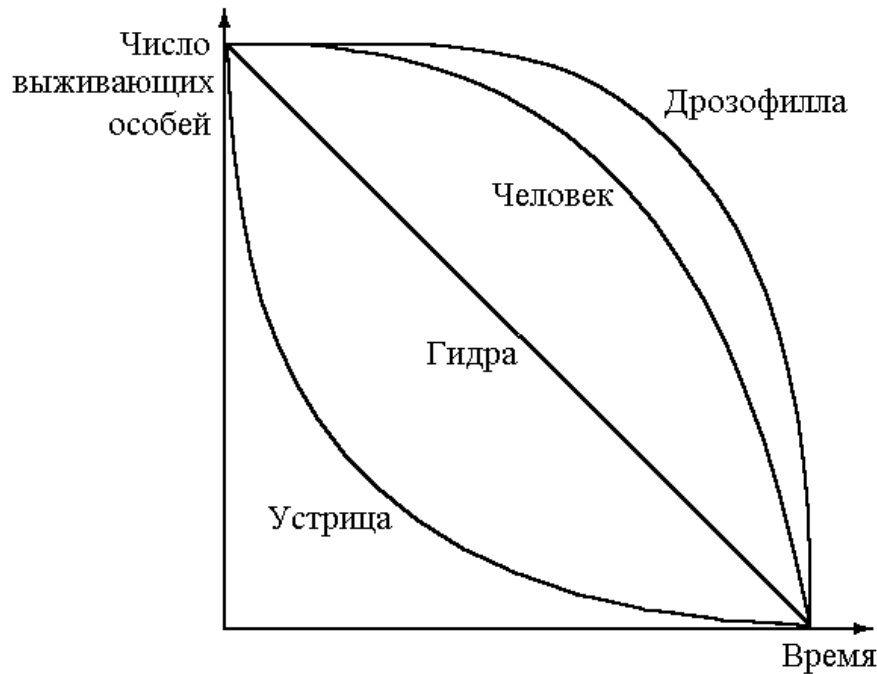


Рис. 2.4. Кривые выживания

Учитывая в тех или иных практических задачах численность популяции, всегда

имеют дело с выжившими на данный момент времени особями. Поэтому фактической характеристикой состояния популяции является выживаемость. Под выживаемостью понимается доля особей в популяции, доживших до определенного момента времени или до возраста размножения. Кривые выживания, приведенные на рис. 2.4, отображают естественную смертность в каждой популяции.

У людей в первой половине жизни процент смертности незначителен, затем резко возрастает. Нечто похожее - у дрозофилы и у большинства насекомых. У гидры, у чайки - смертность постоянна на протяжении всей жизни. У устрицы - высокий процент смертности у молодых особей и низкий у пожилых.

У большинства видов продолжительность жизни самок намного больше, чем самцов.

Если поместить популяцию в стабильную среду, из которой искусственно изъяты все ограничивающие факторы, то численность популяции будет возрастать по экспоненциальному закону как функция времени.

Естественный прирост популяции можно представить отношением числа особей, на которое увеличилась популяция за единицу времени к начальному значению ее численности.

$$r = \frac{dN}{Ndt} , \quad (1)$$

где N - количество особей популяции в момент времени t ;
 dN - число особей, на которое увеличилась популяция за время dt ;
 r - показатель естественного прироста популяции.

Из (1)
$$dN = rNdt .$$

Проинтегрировав это выражение, получаем

$$N = N_0 e^{rt} , \quad (2)$$

График, иллюстрирующий зависимость (2), приведен на рис.2.5.

Таков случай человеческой популяции, зависимость численности которой от времени описывается экспонентой, во всяком случае, до настоящего времени.

Опыт показывает, что люди являются исключением - никакой другой вид животных не следует этому закону. Существуют ограничивающие факторы, которые приводят количество особей каждого вида к оптимальному значению, совместимому со средой его обитания.

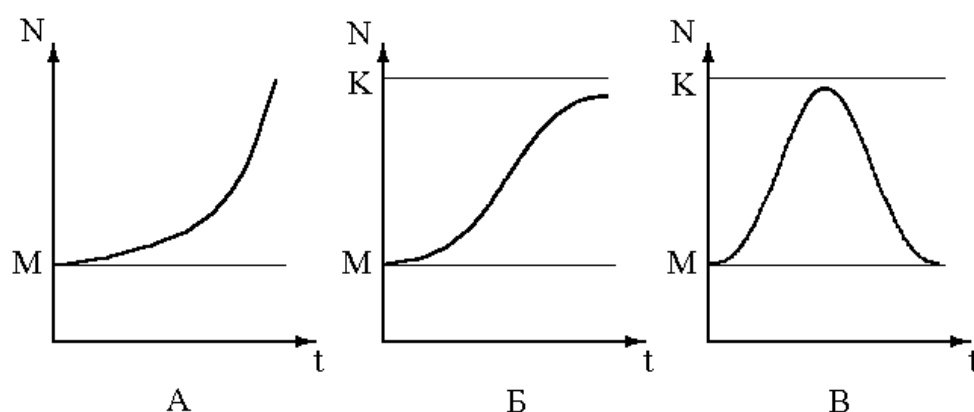


Рис. 2.5. Некоторые типы динамики популяций:

А – j-образная кривая экспоненциального роста;

Б – s-образная (логистическая) кривая;

В – экспоненциальный рост и такое же падение численности;

М и К – нижний и верхний пределы возможной численности

Например, если при очень благоприятных условиях популяция дает вспышку размножения, то начинают складываться условия конкуренции между особями. Тогда для популяции выгодно, чтобы часть особей перестала размножаться и рост численности замедлился. Такие механизмы в природе работают очень четко.

Возьмем грызунов. На каком-то этапе их размножения, при определенной плотности внутри сообщества, начинают обостряться внутренние отношения - из-за территории, из-за самок. Агрессивные формы отношений начинают преобладать над коммуникативными.

Возникает обстановка стресса, который может увеличить гибель особей в популяции или заблокировать поступление в кровь половых гормонов. Не обязательно это происходит через стресс, есть и другие механизмы.

Нередка и противоположная картина: если чрезмерно расплодился хищники или мало корма, то популяция резко сокращается. Тогда включаются механизмы, стимулирующие размножение.

Идет процесс саморегуляции - популяция всегда стремится достичь оптимального уровня своей численности.

Мы сталкиваемся с этим в реальной жизни. Например, ведем борьбу с грызунами с помощью ядов. Стопроцентного уничтожения вредителей никогда не удается достичь. Кто-то засел в норе, кто-то был за пределами зон обработки. И вот эти уцелевшие единичные представители через некоторое время, усиленно размножаясь, восстанавливают численность популяции.

Следовательно, всегда существует предельно высокая (К) и низкая (М) численность и плотность популяции, переступить которые для популяции невозможно, рис. 2.5.

В этом случае возможны два варианта дальнейшей динамики данной популяции:

1. Численность стабилизируется и в целом ее динамика будет характеризоваться так называемой логистической (S - образной) кривой (рис. 2.5.Б).

Скорость роста численности популяции в этом случае определится следующим выражением:

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{K - N}{K}, \quad (3)$$

где $\frac{K - N}{K}$ - "сопротивление среды" (совокупность факторов, препятствующих неограниченному росту численности популяции).

2. После достижения предела К наступает массовая гибель особей, возвращающая численность популяции к некоторому нижнему пределу, после чего нарастание может начаться вновь (рис. 2.5.В). Подобные колебания численности около среднего значения (предельной биотической нагрузки среды) типичны для многих животных.

Итак, тип динамики популяции отражает соответствие требований организма реальным условиям окружающей среды. Антропогенные воздействия способны существенно влиять на динамику популяций, отклоняя сложившиеся исторически типы от установившейся нормы.

2.4. Экологическая система

В предыдущей главе были даны основные понятия и определения, касающиеся экосистемы и близкого ей понятия "биогеоценоз".

В соответствии с приведенными выше формулировками биогеоценоз включает две главные составляющие: совокупность на определенной территории абиотических факторов, т.е. экотоп, и совокупность живых организмов - биоценоз (рис. 2.6.). В свою очередь, экотоп состоит из совокупности климатических (климатоп) и почвенно-грунтовых (эдафотоп) факторов, а биоценоз включает сообщества животных (зооценоз), растений (фитоценоз) и микроорганизмов (микробоценоз). Одно из важнейших свойств биогеоценоза - взаимосвязь и взаимозависимость всех его компонентов, что обозначено стрелками на рис. 2.6. Климат обуславливает состояние и режим почвенных факторов, создает среду обитания живых организмов. Почва, в свою очередь, оказывает влияние на климат (от окраски поверхности почвы зависит ее отражательная способность - альbedo, а значит температура, влажность воздуха), а также влияет на животных, растения и микроорганизмы. Все живые организмы тесно связаны между собой, являясь друг для друга либо источником пищи, либо средой обитания, либо факторами смертности.

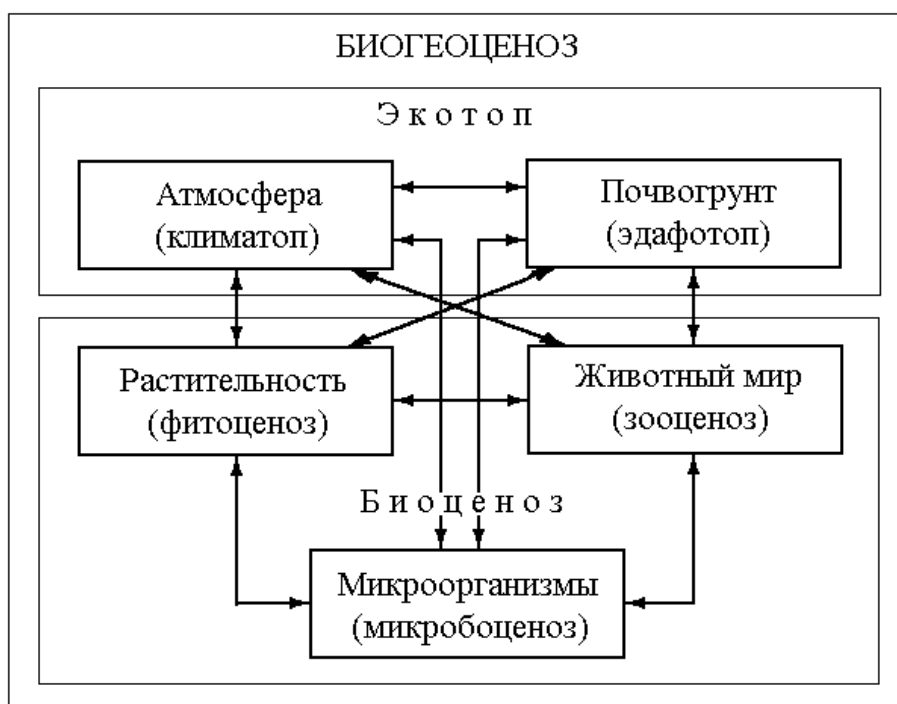


Рис. 2.6. Схема биогеоценоза

Стрелки на рисунке означают каналы передачи информации между различными компонентами биогеоценоза. Человек своей деятельностью способен прямо или косвенно прерывать эти каналы и потоки вещества и энергии или искажать их. Антропогенная деятельность всегда направлена на биогеоценозы (экосистемы), вне которых нет жизни на Земле.

2.4.1. Структура наземной и водной экосистемы

Экологические системы отличаются пространственной и видовой структурой.

Пространственная структура обуславливается тем, что недра, почвы, водный бассейн и атмосфера имеют ярусное строение, что, в свою очередь, влияет на распределение живых организмов в пространстве. В результате длительной эволюции в соответствии с абиотическими и биотическими условиями, разные виды живых организмов распределились в биогеоценозах так, что не только не мешают друг другу, а, наоборот, способствуют наиболее полному и эффективному освоению всех материальных и энергетических ресурсов данного биотопа. Установлено, что многоярусные сложные сообщества более продуктивны, чем простые одноярусные.

Таким образом, ярусность - это явление вертикального расслоения биоценозов на разновысокие структурные части. Наиболее четко, она выражена в растительных сообществах (фитоценозах). Благодаря ярусности различные растения и их органы питания располагаются на разной высоте (или глубине) и поэтому легко уживаются в сообществе.

В лесу нередко выделяется до шести ярусов:

- I - деревья первой величины (ель, сосна, дуб, береза, осина);
- II - деревья второй величины (рябина, черемуха);
- III - подлесок из высоких кустарников (шиповник);
- IV - подлесок из средних кустарников и крупных трав (багульник, голубика, иван-чай);
- V - низкие кустарнички и мелкие травы (клюква);
- VI - мхи, напочвенные лишайники и др.

Аналогично можно расчленить и луговые сообщества.

Ярусно располагаются и подземные части растений. Корни у деревьев, как правило, проникают на большую глубину, чем у кустарников, ближе к поверхности находятся корни мелких травянистых растений, а непосредственно на поверхности - корни мхов. При этом в поверхностных слоях почвы корней значительно больше, чем в глубинных.

Растения каждого яруса обуславливают особый микроклимат и создают определенную среду (экологическую нишу) для обитания в нем строго специфических животных. В результате возникают группировки растений и животных, тесно связанных между собой. Так, например, в почвенном ярусе леса, заполненном корнями растений, обитают бактерии, грибы, насекомые, клещи, черви. В лесной подстилке среди разлагающихся растительных остатков, мхов, лишайников также живут насекомые,

клещи, пауки, множество микроорганизмов. Более высокие ярусы - травостой, подлесок - занимают растительноядные насекомые, птицы, млекопитающие и другие животные. При этом даже птицы, свободно передвигающиеся в пространстве, обычно придерживаются определенного яруса. Особенно ярко это проявляется в период гнездования.

Каждая конкретная экосистема имеет видовую структуру, т.е. характеризуется видовым составом. В дубраве - это дуб, в бору сосна, в ковыльной степи - ковыль и т.д. В лесу, состоявшем из многих десятков видов растений, только один или два вида дают 90 % древесины. Эти виды называются доминирующими, или доминантными. Они занимают господствующее положение в биоценозе. Обычно наземные биоценозы называют по доминирующим видам: лиственный лес, ковыльная степь и т.д. Кроме того, в экосистеме могут быть и так называемые эдификаторы, которые не просто доминируют здесь, а играют роль "образователей" сообщества, определяя режим температуры, влажности, освещенности, специфику почвенно-грунтовых условий.

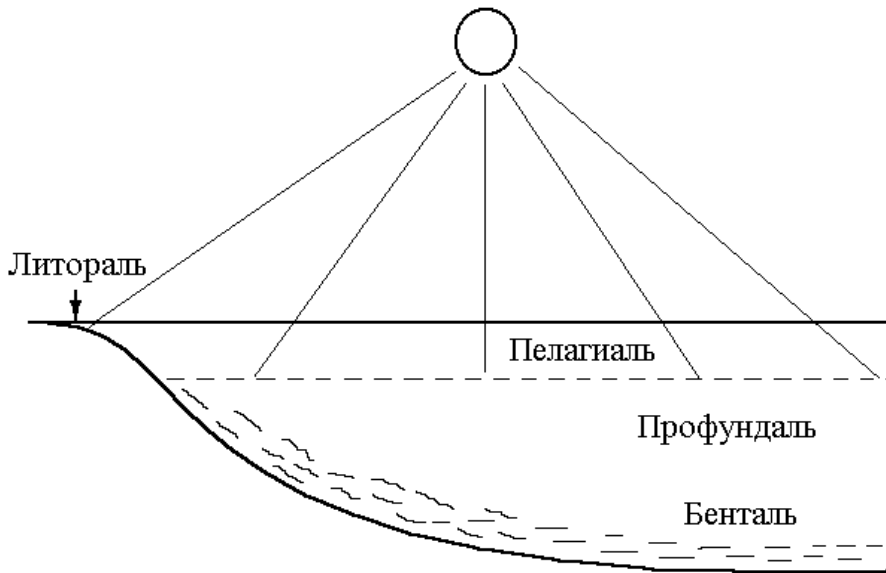
То же касается и водных систем. Водоемы подразделяются на две большие группы: стоячие водоемы, или лентическая среда (*lentic*-спокойный), к которым относятся озера, пруды, болота, и проточные водоемы, или лотические (*lotic* - омывающий), куда входят реки, ручьи.

Специфика водных объектов определяется многими факторами, прежде всего, термодинамическими характеристиками воды, включающими более высокую, чем у воздуха удельную теплоемкость, большую скрытую теплоту плавления, самую высокую из известных веществ теплоту парообразования, наибольшую плотность при строго определенной температуре (+4°C). Абиотические факторы водной среды, рассмотренные выше, обуславливают распределение населяющих водоемы живых организмов, из которых одни обитают на глубине, другие - у поверхности, а третьи - в толще воды.

В любом лентическом водоеме можно выделить четыре основные зоны жизни (рис. 2.7.).

Литораль включает берег водоема и прибрежные, богатые питательными веществами мелководья, до дна освещенные солнцем. Здесь обитают разнообразные свободно плавающие продуценты, прикрепленные к грунту водные растения и другие водные организмы (лягушки, улитки, змеи). Пелагиаль представляет собой поверхностный слой открытых вод, в достаточной мере освещенный солнцем. В зависимости от содержания питательных веществ здесь находятся различные по объему популяции пассивно плавающего фитопланктона, растительноядных видов зоопланктона и рыб. Профундаль - это глубоководная часть зоны открытых вод, где солнечная освещенность недостаточна для процессов

фотосинтеза. Ее населяют виды рыб, приспособленных к обитанию в холодных, слабоосвещенных водах. Бенталь (дно водоема) населена многочисленными редуцентами, моллюсками и личинками насекомых. Эти организмы питаются отмершими растениями, остатками животных



организмов и выделениями животных, поступающими с поверхности.

Рис. 2.7. Основные зоны жизни в системе непроточного водоема

В реках и ручьях, в основном, выделяют две зоны: мелко-

водные перекаты и глубоководные плесы. Каждой из этих зон свойственны свои обитатели.

Движение воды, особенно в лотических водоемах, связанное с ее скоростью, турбулентностью, обуславливает передвижение и локализацию сбрасываемых производством веществ, специфику их осаждения, разложения и процессы самоочищения водоемов.

В любой экологической системе растения, животные и микроорганизмы развиваются только совместно, обуславливая существование друг друга. Все живые организмы прошли свой эволюционный путь развития в тесном взаимодействии, в результате чего у них выработались взаимные приспособления друг к другу, и отдельно существовать они не могут.

Умение различать наземные и водные экосистемы весьма полезно, но не менее важно понимать взаимосвязь этих систем.

К числу важнейших из них относится смыв органических питательных веществ, преимущественно нитратов и фосфатов, с поверхности земли в водные экосистемы. Эти питательные вещества поддерживают жизнь водных растений в реках и озерах, что, в свою очередь обеспечивает жизнь водных животных. За счет поступления гниющих органических веществ в водные экосистемы снабжаются пищей микроорганизмы. Когда почва смывается в озера и медленно текущие реки, почвенный материал отлагается на дне. Эти осадки постепенно преобразуют типы жизни водной флоры и фауны. В конце концов, водная экосистема превращается в экосистему суши.

Природные процессы и деятельность человека могут коренным образом изменить скорость перемещения органических питательных веществ и почвенного материала с суши в воду. Например, затопление или расчистка участков под пашню увеличивают темпы поступления веществ в водные экосистемы, часто перегружая их органикой, что приводит к эвтрофикации - изменению физических, химических и биологических свойств водоема при долговременном поступлении питательных веществ с прилегающих территорий за счет процессов естественной эрозии и стока. Это может стать причиной бурного роста водорослей. При отмирании водорослей и их последующей переработке аэробными (потребляющими кислород) редуцентами в воде резко уменьшается содержание растворенного кислорода, что приводит к гибели рыб и других организмов.

С другой стороны, происходит поступление вещества и из водных систем в наземные. Рыбы и моллюски являются пищей для многих обитающих на суше животных (морские птицы, медведи, орлы) и для человека. С экскрементами часть питательных веществ возвращается из моря на сушу как элемент круговорота азота и фосфора.

2.4.2. Гомеостаз и сукцессия экологической системы

Естественные экологические системы (леса, степи, водоемы) существуют в течение десятков, сотен и более лет, т.е. обладают определенной стабильностью во времени и пространстве. Для поддержания стабильности системы необходима сбалансированность потоков вещества и энергии, процессов обмена веществ между организмами и окружающей их средой. Конечно, ни одна экосистема не бывает абсолютно стабильной, неподвижной. Может периодически увеличиваться численность популяций одних видов животных и растений, но при этом уменьшается численность других. Подобные процессы имеют более или менее правильную периодичность и в целом не выводят систему из равновесия.

Состояние подвижно-стабильного равновесия экосистемы носит название гомеостаза ("гомео" - тот же, "стазис" - состояние). Гомеостатичность - важнейшее условие существования любой экологической системы, однако в разных сообществах его признаки и закономерности неодинаковы.

Например, в естественной экосистеме гомеостаз поддерживается тем, что такая система открыта, т.е. непрерывно получает информацию из окружающей среды: к растениям непрерывно поступает солнечная энергия, масса химических веществ.

Иное дело - антропогенная экологическая система, она не может рассматриваться как открытая. Например, система для очистки сточных

вод - аэротенк. При поступлении в аэротенк вещества, содержащиеся в сточных водах, сорбируются поверхностью активного ила, т.е. хлопьевидными скоплениями бактерий, простейших, колумелл и др. При непрерывном поступлении сточных вод содержащиеся в них вещества накапливаются в аэротенке, а концентрация активного ила снижается. В конечном итоге равновесное состояние такой экосистемы нарушается, качество очистки снижается, система может перестать работать. Для того, чтобы система аэротенка сохраняла режим своей работы, человек вынужден сам поддерживать ее гомеостаз. Управление заключается в постоянном нагнетании воздуха (аэрации), периодическом обновлении ила.

Несмотря на то, что естественная экосистема находится в состоянии подвижно-стабильного равновесия, она испытывает медленные, но постоянные изменения во времени, имеющие последовательный характер. Эти изменения в первую очередь касаются биоценоза (биоты). Такую последовательную смену одного биоценоза другим называют сукцессией (лат. "сукцедо" - следую).

Сукцессии - естественное явление, хотя часто обусловлены вмешательством человека. Они наблюдаются в природе, если в процессе своего развития сообщество изменяет среду так, что она становится более благоприятной для другого сообщества, формирование которого делает среду еще менее благоприятной для первого. Так происходит постепенное превращение одних экосистем в другие.

Различают первичные и вторичные сукцессии. Первичной сукцессией называется процесс развития и смены экосистем на незаселенных ранее участках. Классический пример - постепенное обрастание голых скал с развитием в конечном итоге на ней леса. Голый камень непригоден для жизни. Семена с трудом находят место, подходящее для закрепления и прорастания, а если и прорастут, всходы скорее всего погибнут из-за нехватки воды, воздействия ветра и солнца. Однако мхи могут расти и в таких условиях. Их крошечные клетки - споры прорастают в мельчайших трещинах скал; при засухе мхи переходят в неактивные, покоящиеся состояния, но не гибнут. При малейшем увлажнении продолжается их рост с формированием как бы ковра на поверхности скалы. Он как сито улавливает частицы породы, приносимые ветром или водой. Так постепенно накапливается почва. Вместе с моховым покрытием она обеспечивает место для поселения семенных растений, причем мох удерживает воду, необходимую для прорастания семян. Крупные растения накапливают и образуют почву, кроша скалу своими корнями. Наконец, ее слой оказывается достаточным для развития деревьев и кустарников. Их опадающие листья не дают расти мхам и большинству других мелких

видов, начавших сукцессию. Так постепенно на изначально голой скале идет процесс смены мхов травами и наконец лесом.

Восстановление экосистемы, когда-то уже существовавшей на данной территории, называют вторичной сукцессией. Классический пример ее - превращение вырубki или заброшенной пашни в лес. Вначале появляются травянистые растения, далее - в результате налета семян - всходы деревьев и кустарников, причем обычно сначала развиваются светолюбивые и быстрорастущие лиственные породы, и лишь по прошествии определенного времени под пологом лиственных начинают расти хвойные.

Сукцессия завершается стадией, когда все виды экосистемы, размножаясь, сохраняют относительно постоянную численность, и дальнейшей смены ее состава не происходит. Такое равновесное состояние называют климаксом, а экосистему климаксовой. В разных абиотических условиях формируются неодинаковые климаксовые экосистемы. В сухом и жарком климате это будет пустыня; в жарком, но влажном - тропический лес. Необходимо отметить, что даже такие системы не абсолютно стабильны; просто все виды достигли в них состояния равновесия друг с другом и со средой. Это динамическое равновесие подразумевает непрерывную "настройку" и "перенастройку", так как и популяции, и условия меняются год от года.

При сукцессиях изменения экосистем происходят медленно и постепенно: это более или менее упорядоченный процесс замещения одних видов другими, на всех стадиях которого экосистема достаточно сбалансирована и разнообразна. Резкие изменения, вызывающие популяционный взрыв некоторых видов за счет гибели большинства других, свидетельствуют об экологическом нарушении. Примером этого может служить упомянутый выше сброс богатых биогенами сточных вод в естественные водоемы, вызывающий бурный рост водорослей. Наконец, изменения могут быть столь резкими, что практически ни один исходящий компонент экосистемы не сохраняется. Тогда говорят о ее гибели.

Если не считать землетрясений, извержений вулканов и аналогичных катастроф, то естественные изменения экосистем, как правило, протекают постепенно, по типу сукцессий, тогда как вмешательство человека часто бывает внезапным и глубоким, приводящим к нарушениям или гибели экосистем.

2.5 Энергетика и продуктивность экосистемы

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.

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

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. Такое сокращение используемой энергии высокого качества на каждом последующем трофическом уровне является следствием второго начала термодинамики.

Таким образом, экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество и качество которой относительно постоянно и избыточно. Назовем это первым основным принципом функционирования экосистем [19].

Процентное содержание энергии высокого качества, переходящей из одного трофического уровня в другой, колеблется от 2 до 30 % в зависимости от вовлекаемых типов живых организмов и от экосистемы, в которой происходит трансформация энергии. Экологи подсчитали, что в дикой природе в среднем около 10 % доступной высококачественной химической энергии одного трофического уровня трансформируется в доступную химическую энергию в организмах следующего уровня. Оставшаяся энергия используется для поддержания жизнедеятельности организмов, но большая ее часть теряется в окружающей среде как тепловая энергия низкого качества.

В процессе жизнедеятельности биоценоза создается и расходуется органическое вещество. Это значит, что каждая экосистема обладает определенной продуктивностью. Продуктивность оценивают как скорость образования вещества (биомассы), например, г/сутки, т/год.

Первичная продуктивность системы определяется как биомасса, производимая продуцентами на единице площади за единицу времени. Однако в процессе жизнедеятельности растений часть созданного вещества расходуется на дыхание и, следовательно, в единицу времени на единице площади накапливается меньше биомассы, чем ее было создано. Чистая продуктивность равняется скорости, с которой растения производят химическую энергию в процессе фотосинтеза, за вычетом скорости, с которой растения используют некоторую часть этой энергии для аэробного клеточного дыхания, необходимого для их жизнедеятельности, роста и размножения.

Консументы также создают органическое вещество за счет чистой первичной продуктивности, но сами синтезировать органические вещества

из неорганических не могут. Продуктивность консументов носит название вторичной.

Как было указано выше, вторичная продуктивность исключительно низка: при передаче от каждого предыдущего звена трофической цепи к последующему теряется 90 – 99 % энергии. Если, например, растениями на 1 м^2 поверхности почвы создано за сутки количество вещества, эквивалентное 84 кДж, то продукция первичных консументов составит 8,4 кДж, а вторичных - не превысит 0,8 кДж. Расчеты показывают, что для образования 1 кг говядины необходимо 70 - 90 кг свежей травы.

Рассматривая поток энергии в экосистемах, легко понять, почему с повышением трофического уровня биомасса снижается. Во-первых, любую популяцию живых организмов можно рассматривать как биомассу (общую массу живых организмов), которая каждый год увеличивается за счет роста и размножения организмов и одновременно сокращается за счет их естественной гибели и потребления консументами. Если она остается на постоянном уровне, как и бывает в стабильной экосистеме, следовательно, консументы 1-го порядка, например, съедают за год не больше того, что производят продуценты. Если они будут съедать больше (скажем, при избыточном выпасе), то популяция продуцентов в конце концов исчезнет. Во-вторых, существенная доля потребляемой консументами биомассы не усваивается ими и возвращается в экосистему в виде экскрементов. Если еще учесть, что большая часть переваренной пищи расходуется на выработку энергии, то становится понятно, почему общая биомасса продуцентов во много раз больше, чем у растительноядных животных. То же самое наблюдается и при переходе на более высокие трофические уровни. Это второй основной принцип функционирования экосистем - чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень.

Продуктивность экологических систем и соотношение в них различных трофических уровней выражается в виде пирамид (рис. 2.8.).

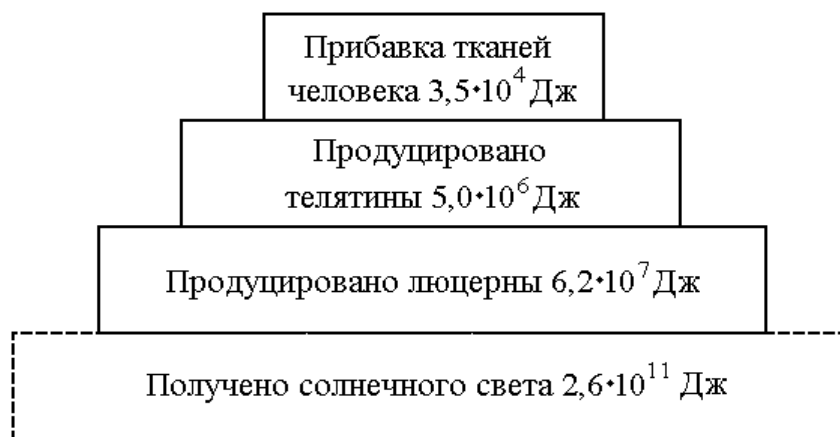


Рис. 2.8. Энергетический вариант экологической пирамиды для конкретной сельскохозяйственной системы [10]

Длина прямоугольника пропорциональна потоку энергии каждого уровня. Пирамиды наглядно иллюстрируют

рируют соотношения биомасс и эквивалентных им энергий в каждом звене пищевой цепи и используются в практических расчетах при обосновании, например, необходимых площадей под сельскохозяйственные культуры с тем, чтобы обеспечить кормами скот, а следовательно, потребность населения в животном белке.

Годовая первичная продуктивность наземных экологических систем характеризуется данными табл. 2.1.

Таблица 2.1

Первичная биологическая продуктивность наземных экосистем земного шара (по Р.Х. Уиттекеру, 1980) [50]

Типы экосистем	Площадь, $\cdot 10^6 \text{ км}^2$	Чистая первичная продуктивность, г/м^2 за год		Общая чистая продуктивность, $\cdot 10^9 \text{ т/год}$
		Колебания	в среднем	
Влажные тропические леса	17	1000 - 3500	2200	37,4
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	600 - 2500	1300	6,5
Бореальные леса (тайга)	12,0	400 - 2000	800	9,6
Лесо-кустарниковые сообщества	8,5	250 - 1200	700	6,0
Саванны	15,0	200 - 2000	900	13,5
Лугостепи умеренного пояса	9,0	200 - 1500	600	5,4
Тундра и высокогорья	8,0	10 - 400	140	1,1
Пустыни и полупустыни	18,0	10 - 250	90	1,6
Экстремальные пустыни, скалы, пески и др.	24,0	0 - 10	3	0,07
Культивируемые земли	14,0	100 - 3500	650	9,1
Болота и марены	2,0	800 - 3500	2000	4,0
Озера и реки	2,0	100 - 1500	250	0,5
Материковые экосистемы в целом	149	0 - 3500	773	115
Открытый океан	332,0	2 - 400	125	41,5
Зоны апвеллинга	0,4	400 - 1000	500	0,2
Континентальный шельф	26,6	200 - 600	360	9,6
Заросли водорослей и рифы	0,6	500 - 4000	2500	1,6
Речные дельты (эстуарии)	1,4	200 - 3500	1500	2,1
Морские экосистемы в целом	361,0	2 - 4000	152	55
Средняя и общая продуктивность биосферы	510,0	0 - 4000	333	170

Из данных таблицы видно, что в настоящее время наибольший объем первичной продукции создается лесными и степными экологическими системами.

Таблица 2.2.

Биомасса организмов Земли

Сфера	Оценочные характеристики	
	Тонн	%
Суша:		
Растения	$2,4 \cdot 10^{12}$	99,2
Животные и микроорганизмы	$0,02 \cdot 10^{12}$	0,8
Итого	$2,42 \cdot 10^{12}$	100
Океан:		
Растения	$0,0002 \cdot 10^{12}$	6,3
Животные и микроорганизмы	$0,003 \cdot 10^{12}$	93,7
Итого	$0,0032 \cdot 10^{12}$	100
Всего	$2,4232 \cdot 10^{12}$	

Жизнь людей, их производственная деятельность зависят от продуктивности основных биогеоценозов, от первичной продукции и ее распределения. Питание людей обеспечивается, главным образом, сельскохозяйственными культурами, занимающими около 10 % площади суши и дающими в год около 9 млрд. тонн органического вещества, что составляет значительную часть мировых ресурсов. Если по первичной продуктивности имеются относительно достоверные данные, то по продуктивности других трофических уровней их мало. Определение вторичной продуктивности экосистем сопряжено с большими трудностями, и известны лишь косвенные данные, например, биомасса на различных уровнях. Данные о распределении всей биомассы организмов на Земле приведены в табл. 2.2.

Как видно, биомасса организмов океана ничтожно мала в сравнении с биомассой наземных животных, растений и микроорганизмов.

2.6. Круговорот веществ в биосфере

В.Р. Вильямс писал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного - это заставить конечное вращаться по замкнутой кривой, т.е. вовлечь его в круговорот. Именно это и происходит в экосистемах.

Биогенный круговорот происходит на уровне экосистемы и заключается в том, что питательные вещества почвы, вода, углерод аккумулируются в веществе растений, расходуются на построение тела и жизненные процессы как их самих, так и организмов-консументов. Реду-

центры разлагают органические вещества до минеральных компонентов, опять-таки доступных растениям и вновь вовлекаемых ими в поток вещества.

Итак, третий основной принцип функционирования экосистем - получение ресурсов и избавление от отходов происходит в рамках круговорота всех элементов.

Рассмотрим такой круговорот для основных компонентов, входящих в состав биосферы.

2.6.1. Круговорот углерода

Углерод, содержащийся в виде CO_2 в атмосфере ($23,5 \cdot 10^{11}$ т) служит "сырьем" для фотосинтеза растений, а затем вместе с их веществом потребляется консументами разных трофических уровней. При дыхании растений, животных и редуцентов, а также по мере разложения мертвого вещества в почве выделяется CO_2 , в форме которого углерод и возвращается в атмосферу (рис. 2.9.).

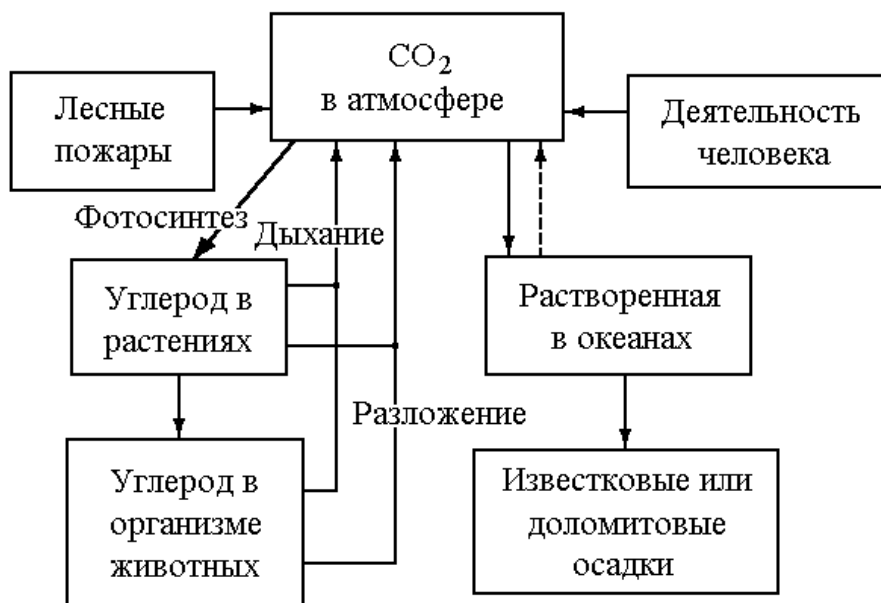


Рис. 2.9. Фрагмент круговорота углерода [44]

Большая часть углерода, вовлеченного в круговорот, содержится в океанах. От углерода, содержащегося в океанах в виде карбонатов, главным образом, зависит количество двуокиси углерода в атмосфере. Океан поглощает избыток двуокиси углерода из воздуха, в результате чего образуются карбонатные и бикарбонатные ионы. Существует и обратный процесс, в ходе которого двуокись углерода выделяется из океанов в атмосферу. Таким образом, океаны, поддерживающие концентрацию CO_2

в атмосфере на постоянном уровне, играют роль своеобразного буфера. Считается, что этот механизм обеспечивал относительное постоянство содержания двуокси углерода в атмосфере, пока не вмешался фактор индустриализации.

В далекие геологические эпохи (сотни миллионов лет назад) значительная часть фотосинтезируемого органического вещества не использовалась ни консументами, ни редуцентами, а накапливалась и постепенно погребалась под минеральными осадками. Находясь в земле миллионы лет, этот детрит (мертвые растительные и животные остатки) под действием высоких температуры и давления превращался в нефть, природный газ и уголь. Теперь мы в огромных количествах добываем это ископаемое топливо для обеспечения энергетических потребностей нашего индустриального общества и, сжигая его, завершаем круговорот углерода. При сжигании углерод топлива выделяется в виде CO_2 , концентрация которого в воздухе резко возрастает: его поступление существенно превышает поглощающие возможности растений. Это чревато серьезными климатическими последствиями, о чем речь пойдет в разделе, посвященном инженерной защите атмосферы.

2.6.2. Круговорот азота

Организмы нуждаются в различных химических формах азота для образования белков и генетически важных нуклеиновых кислот типа ДНК. Большинству зеленых растений требуется азот в форме нитрат-ионов (NO_3^-) и ионов аммония (NH_4^+). Газообразный азот (N_2), составляющий 78 % объема земной атмосферы, ни растениями, ни людьми, ни большинством других организмов не может быть использован непосредственно. Газообразный азот может преобразовываться в растворимые в воде соединения, содержащие нитрат-ионы и ионы аммония, усваиваемые корнями растений в процессе круговорота азота (рис. 2.10).

Преобразование атмосферного газообразного азота в усваиваемые растениями химические формы называется фиксацией азота. Осуществляется она, в основном, либо сине-зелеными водорослями и определенными видами бактерий в почве и воде, либо бактериями из рода *Rhizobium*, обитающими в небольших клубеньках на корнях люцерны, клевера, гороха, фасоли и других бобовых растений. Определенный вклад в фиксацию азота вносят грозные разряды молний, при которых газообразные азот и кислород в атмосфере превращаются в оксид и диоксид азота. Эти газы взаимодействуют с водяным паром и преобразуются в нитрат-ионы, которые попадают на земную поверхность в форме азотной кислоты, растворенной в атмосферных осадках, и в форме частиц нитратных солей.

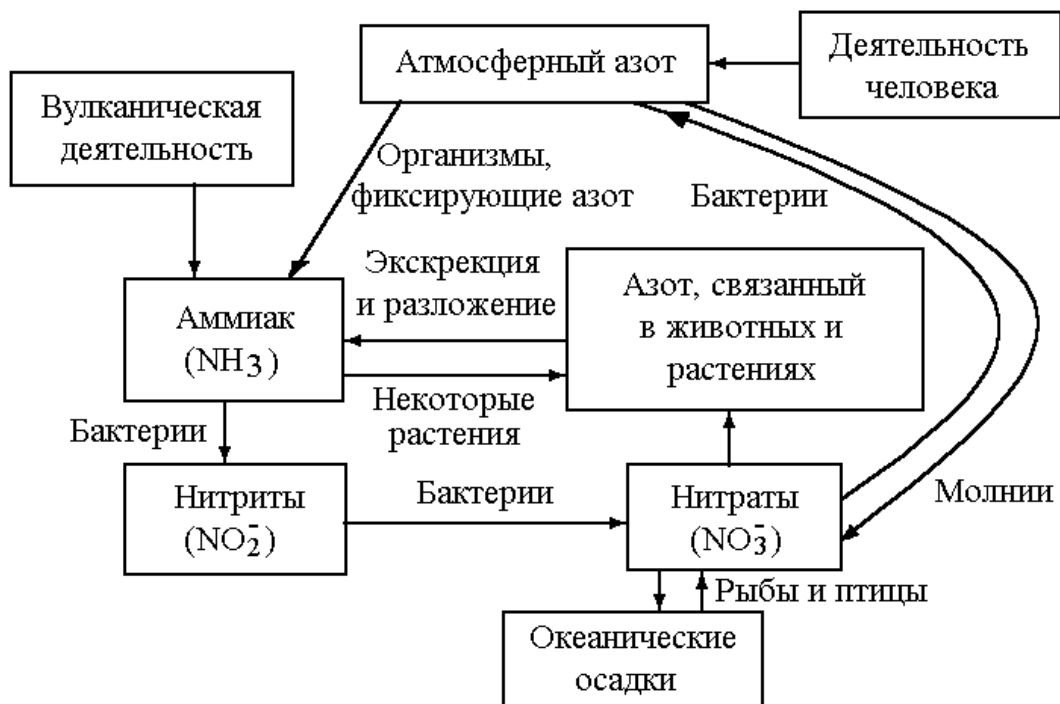


Рис. 2.10. Круговорот азота

Неорганические нитрат-ионы и ионы аммония, поглощаемые растениями из почвенной влаги, преобразуются ими в белки, ДНК и другие необходимые им азотсодержащие органические соединения. Животные покрывают большую часть своих потребностей в азотных питательных веществах, поедая растения или других растительоядных животных.

Особые бактерии - редуценты превращают азотсодержащие органические соединения биологических отходов (экскрементов и мертвых организмов) в неорганические вещества такие, как газообразный аммиак (NH₃) и растворимые в воде соли, содержащие ионы аммония (NH₄⁺). Другие специальные группы бактерий затем преобразуют эти неорганические формы азота в нитрат-ионы в почве и в газообразный азот, который, попадая в атмосферу, замыкает цикл.

2.6.3. Круговорот фосфора

Фосфор в виде фосфат-ионов (PO₄³⁻ и HPO₄²⁻) является важным питательным элементом как для растений, так и для животных. Он входит в состав молекул ДНК, несущих генетическую информацию; молекул АТФ и АДФ, в которых запасается необходимая для организмов химическая энергия, используемая при клеточном дыхании; молекул жиров,

образующих клеточные мембраны в растительных и животных клетках; а также веществ, входящих в состав костей и зубов животных.

Круговорот фосфора показан на рис. 2.11.

В этом круговороте фосфор медленно перемещается из фосфатных месторождений на суше и мелководных океанических осадков к живым организмам и затем обратно.



Рис. 2.11. Круговорот фосфора

Фосфор, высвобождаемый при медленном разрушении (или выветривании) фосфатных руд, растворяется почвенной влагой и поглощается корнями растений. Тем не менее, в большинстве почв содержатся очень незначительные количества фосфора, так как фосфатные соединения очень плохо растворяются в воде и встречаются лишь в определенных типах горных пород. Таким образом, во многих почвах и водных экосистемах содержание фосфора является лимитирующим фактором роста растений.

Животные получают необходимый им фосфор, поедая растения или других растительноядных животных. Значительная часть этого фосфора в виде экскрементов животных и продуктов разложения мертвых животных и растений возвращается в почву, в реки и на дно океана в виде нерастворимых фосфатных осадочных пород.

Часть фосфора возвращается на поверхность суши в виде обогащенной фосфором органической массы экскрементов птиц питающихся рыбой. Однако несравнимо большее количество фосфатов

ежегодно смывается с поверхности суши в океан в результате природных процессов и антропогенной деятельности.

Вследствие длящихся миллионы лет геологических процессов могут подниматься и осушаться участки океанического дна, образуя острова или материки. Последующее выветривание обнажившихся горных пород приводит к высвобождению новых количеств фосфора и продолжению круговорота.

2.6.4. Круговорот серы

Сера преобразуется в различные соединения и циркулирует в биосфере. Из природных источников она попадает в атмосферу в следующем виде:

- сероводород (H_2S) - бесцветный, дурно пахнущий ядовитый газ - при извержении вулканов, при разложении органических веществ в болотах и затапливаемых приливами низинах;
- диоксид серы (SO_2) - бесцветный, удушливый газ при извержении вулканов;
- частицы сульфатных солей (например, сульфат аммония) – из мельчайших брызг океанической воды.

Около трети всех соединений серы и 99 % диоксида серы, попадающих в атмосферу, имеют антропогенное происхождение. Сжигание серосодержащих углей и нефти для производства электроэнергии дает примерно две трети всех антропогенных выбросов двуокиси серы в атмосферу. Остальная треть приходится на такие технологические процессы, как переработка нефти, выплавка металлов из серосодержащих медных, свинцовых и цинковых руд.

В атмосфере двуокись серы окисляется кислородом до газообразного триоксида серы, который при реакции с водяным паром образует мельчайшие капельки серной кислоты (H_2SO_4). Взаимодействуя с другими атмосферными компонентами, триоксид серы может образовывать мельчайшие частицы сульфатных солей. Серная кислота и сульфатные соли вносят свой вклад в образование кислотных осадков, нарушающих жизнедеятельность лесных и водных экосистем.

2.6.5. Круговорот воды

Гидрологический цикл, в процессе которого происходит накопление, очистка и перераспределение планетарного запаса воды, состоит в следующем. Солнечная энергия и земное притяжение непрерывно перемещают воду между океанами, атмосферой, сушей и живыми организмами. Важнейшими процессами этого круговорота являются испарение,

конденсация, осадки и сток воды назад в море для возобновления цикла.

Под воздействием поступающей солнечной энергии вода испаряется с поверхности океанов, рек, озер, почв и растений и поступает в атмосферу. Ветры и воздушные массы переносят водяной пар в различные районы Земли. Понижение температуры в отдельных частях атмосферы приводит к конденсации водяного пара, образованию облаков и туманов и выпадению атмосферных осадков.

Часть пресной воды возвращается на поверхность земли в виде осадков, замерзает в ледниках. Однако в основном она заполняет понижения и ложбины и стекает в ближайшие озера, ручьи и реки, которые несут ее назад в океан, тем самым, замыкая кольцо круговорота. Такой сток пресных вод с поверхности суши вызывает также эрозию почв, которая приводит к перемещению различных химических веществ в рамках других биогеохимических циклов.

Значительная часть возвращаемой на сушу воды просачивается глубоко в грунт. Там происходит накопление грунтовых вод в водоносных горизонтах - подземных резервуарах. Подземные источники и водотоки в итоге возвращают воду на поверхность суши и в реки, озера, ручьи, откуда она вновь испаряется или стекает в океан. Однако циркуляция подземных вод происходит несравнимо медленнее, чем циркуляция поверхностных и атмосферных вод.

2.7. Помехи в экосистемах

Итак, все компоненты экологической системы, находясь в постоянном взаимодействии между собой, образуют круговороты химических элементов. Обмен веществ организмов между собой и обмен их с окружающей средой можно рассматривать как процессы передачи информации и энергии. Следовательно, в любой экосистеме, где существуют пищевые цепи, имеются определенные "каналы" передачи этой информации: химической, энергетической, генетической и др. [10].

Сбалансированность биологического круговорота, а следовательно, и устойчивость экологических систем, с точки зрения кибернетики, обеспечиваются механизмами и процессами обратной связи. Принцип обратной связи заключается в том, что некоторый управляющий компонент той или иной системы получает информацию от управляемых компонентов, используя эту информацию для внесения коррективов в дальнейший процесс управления.

Для пояснения принципа обратной связи в экологии рассмотрим условную простую экологическую систему, состоящую только из двух трофических уровней "олень-волк". То есть в этой модельной экосистеме

отсечены «продуцентная» и «редуцентная» части, а сложная связь трофических каналов, существующая в реальном, представлена звеном перехода вещества и энергии от консумента 1-го рода (олень) к консументу 2-го рода (волк). Подобное упрощение позволит сделать некоторые принципиальные выводы.

В этой системе волки (хищники) поедают оленей (жертв). Если численность жертвы постоянно растет, то хищник, который только этой жертвой и питается, тоже имеет возможность увеличить свою численность (объем популяции). В этом проявится положительная обратная связь, которая стремится вывести систему из равновесия. Но поскольку волк ест оленей, то он, естественно, снижает численность популяции оленя. В этом проявляется отрицательная обратная связь, которая компенсирует отклонение и возвращает систему в исходное состояние. Если численность волка почему-либо резко возрастает, то он, соответственно, снизит и численность оленя, и сам будет поставлен перед условием ограничения собственной численности, так как будет испытывать недостаток пищи.

В естественной экологической системе все время поддерживается равновесие, исключаящее необратимое уничтожение тех или иных звеньев в трофических цепях. Численность волка и оленя всегда будет держаться на определенном уровне. Сколь бы ни была сильна экосистема, она всегда сбалансирована, устойчива и только поэтому продуктивна.

При некоторых условиях обратная связь, или передача информации, может быть нарушена. Например, на оленей начал охотиться другой хищник и стал мешать в этом отношении волку, или среди оленей возникла инфекционная болезнь. При этом сбалансированность системы нарушается, причем нарушение это может быть обратимым или необратимым. Говоря языком кибернетики, в каналах обратной связи между популяциями волка и оленя появились помехи. Роль помех могут играть и абиотические факторы среды, например, факторы климатические. Засуха может снизить продуктивность растений и ограничить пищу для оленя, что немедленно скажется на волке. Кроме того, волк, ослабленный недостатком пищи, потеряет устойчивость к инфекционным заболеваниям.

Воздействия помех на популяцию носят статистический характер. Те особи, для которых помехи оказались непреодолимыми, погибнут или не дадут потомства, а более стойкие выживут, передав наследственную информацию своим потомкам. Происходит естественный отбор под влиянием помех. Эти помехи являются положительными, полезными и выступают как фактор эволюции.

Очевидно, чем более сложна экологическая система, тем больше имеется в ней перекрещивающихся трофических цепей и тем выше ее информативность, а значит и стабильность во времени и пространстве.

Однако в системе "олень-волк" могут появиться помехи, носящие стрессовый характер. Если такие помехи находятся в определенных пределах, то станет меньше оленей, но и меньше волков. Стабильность системы в целом не нарушится, но объем трофических уровней в цепи изменится, сохранив, однако, обусловленное законами термодинамики соотношение предшествующих и последующих звеньев этой цепи. При этом новый уровень стабильности системы опять-таки будет обеспечиваться механизмами обратной отрицательной связи.

Давление помех, конечно же, не может быть беспредельным. При определенной степени стрессового фактора, например, при нашествии других хищников или массовой гибели одного из компонентов из-за болезней, информационная обеспеченность экосистемы не сможет за счет отрицательной обратной связи компенсировать отклонения, определяемые положительной обратной связью. То есть применительно к конкретной экосистеме «олень-волк» для условий стресса существует статистически взвешенное число оленей, при котором экосистема еще сохраняет свое существование. Это число - предел устойчивости гомеостаза экосистемы. Если интенсивность стресса будет такова, что число оленей станет меньше предела устойчивости гомеостаза экосистемы, то экосистема прекратит свое существование.

2.8. Деятельность человека как источник помех

В силу необходимости человек постоянно вмешивается в процессы, идущие в экосистеме, влияя на нее в целом или на отдельные звенья. Влияние человека на экосистемы сказывается весьма интенсивно, поскольку своей деятельностью он создает направленные помехи в механизмах передачи обратной связи между компонентами. Эти помехи отличны от естественных. Они не являются инструментом отбора, поскольку в процессе эволюции организмы к ним приспособиться, как правило, не успевают. Отклонения от нормы некоторых параметров среды выходят в таких случаях за пределы, отвечающие нормам реакции организмов на эти параметры.

Человечество столкнулось с целым рядом экологических проблем из-за того, что оно нарушает основные принципы функционирования экосистем [19].

Первый принцип. Экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно.

До Промышленной революции люди облегчали свой труд, используя энергию домашних животных, дров, ветра, воды. Все это - непрямые

источники солнечной энергии. Лишь в последние 250 лет мы стали использовать ископаемое топливо, но спустя даже такой короткий период оказались на пороге истощения его ресурсов. Более того, его сжигание породило многочисленные проблемы загрязнения окружающей среды, включая возможность катастрофических по своим последствиям изменений климата в результате избыточного поступления в атмосферу углекислого газа. Как будет показано в главе 5, все практические попытки найти альтернативу солнечной энергии чреваты неустойчивостью процессов, происходящих в биосфере.

Второй принцип. На конце длинных пищевых цепей не может быть большой биомассы.

За последние 100 лет численность человечества возростала с феноменальной скоростью и продолжает увеличиваться примерно на 90 млн. человек в год. Тем не менее, множество людей, особенно в развитых странах, по своему рациону относятся, в основном, к третьему трофическому уровню, т.е. едят мясо. Поскольку для производства одного его килограмма требуется от 10 до 20 кг зерна, такой характер нашего питания ложится тяжелым бременем на сельское хозяйство. Чтобы все люди могли позволить себе мясной рацион, надо примерно в 10 раз расширить посевные площади. Стремление увеличить сельскохозяйственную продукцию оборачивается разрушением почв в результате эрозии и перевыпаса, что приводит к снижению плодородия земель и возникновению продовольственного кризиса. Этим вопросам посвящена следующая глава.

Третий принцип. В естественных экосистемах использование ресурсов и избавление от отходов осуществляется в рамках круговорота всех элементов.

Вмешательство человека в естественные круговороты основных веществ в биосфере резко возрастает, особенно, начиная с 50-х годов нашего столетия, из-за быстрого роста населения и интенсивного использования природных ресурсов [18].

Увеличение содержания углерода в биосфере в результате антропогенной деятельности происходит в основном в результате двух процессов:

- сведение лесов и другой растительности без достаточных лесовосстановительных работ, в связи с чем уменьшается общее количество растительности, способной поглощать двуокись углерода;
- сжигание углеродсодержащих ископаемых видов топлива и древесины.
- Образующийся при этом углекислый газ попадает в атмосферу. Ученые предсказывают, что этот углекислый газ вместе с другими летучими техногенными выбросами может в ближайшие десятилетия вызвать

потепление земной атмосферы и тем самым внести дополнительные изменения в ход естественных процессов в биосфере.

Вмешательство человека в круговорот азота состоит в следующем:

- сжигание древесины или ископаемого топлива, при котором в атмосферу выбрасываются большие количества оксида азота (NO). Оксид азота затем в атмосфере соединяется с кислородом и образует диоксид азота (NO₂), который при взаимодействии с водяным паром может образовывать азотную кислоту (HNO₃), которая является компонентом кислотных осадков, наносящих вред всему живому;
- добыча полезных ископаемых, содержащих нитрат-ионы и ионы аммония, для производства минеральных удобрений;
- вынос из почвы нитрат-ионов и ионов аммония при сборе урожая сельскохозяйственных культур с высоким содержанием азота;
- увеличения количества нитрат-ионов и ионов аммония в водных экосистемах при попадании в них загрязненных стоков с ферм, полей, коммунально-бытовых канализационных стоков.

Увеличение содержания фосфора в биосфере происходит в результате:

- добычи фосфатных руд для производства минеральных удобрений и моющих средств;
- увеличения избытка фосфат-ионов в водных экосистемах, при попадании в них загрязненных стоков с животноводческих ферм, смытых с полей фосфатных удобрений, а также очищенных и неочищенных коммунально-бытовых стоков.

Человек вмешивается в круговорот воды двумя способами:

- забором большого количества пресной воды из рек, озер и водоносных горизонтов;
- уничтожением растительного покрова суши. Это приводит к уменьшению просачивания поверхностных вод под землю, что сокращает пополнение запасов грунтовых вод.

Загрязнения биосферы, связанные с нарушением человеком указанных принципов функционирования экосистем: физические (тепловое, шумовое, вибрационное, электромагнитное, световое, радиоактивное); химические (аэрозоли, химические вещества, тяжелые металлы, пестициды, пластмассы, синтетические поверхностно-активные вещества); биологические (биотическое, микробиологическое, генно-инженерное) - ежесекундно, ежемгновенно атакуют экологические ниши популяций - компонентов экосистем и, вместе с тем - пределы устойчивости гомеостаза экосистем. Поскольку постоянно возрастающая интенсивность загрязнений приводит к вытеснению популяций за пределы толерантности (этому способствует синергетика комплексного воздействия загрязнений),

происходит повсеместное преодоление загрязненными пределами устойчивости гомеостаза экосистем, их деградация и гибель.

Ускоряющееся, резкое изменение окружающей природной среды может привести к снижению устойчивости биосферы. Мы стоим на пороге очередного важного "эволюционного события", которое определит дальнейшее развитие жизни на Земле. Либо произойдет разрушение биосферы, сопровождающееся вымиранием большинства видов, либо человек научится контролировать свою всеокрушающую мощь и создаст устойчивую антропогенную экосистему, где будет соблюдаться равновесие между всеми обитающими на Земле видами, и пойдет дальше по пути совершенствования своих духовных и интеллектуальных способностей. Только такая экосистема позволит сохранять и развивать науку, технику, культуру, всю цивилизацию. События, изменяющие ход эволюции, происходили в истории Земли приблизительно раз в 100 млн. лет. Осознаем же, что мы живем именно в такую эпоху. В ближайшие 50 лет нам предстоит сделать выбор: либо создать устойчивую антропоэкоэcosystemу, либо стать очевидцами катастрофы.

Очевидно, здесь нет альтернативы. Зная основные принципы устойчивости и равновесия природных экосистем, мы должны применить их в человеческом обществе и построить здание на фундаменте, который уже заложен [19].

Глава 3. СПАСТИ ЗЕМЛЮ - НАКОРМИТЬ МИР

3.1. Демографические проблемы

3.1.1. Рост человеческой популяции.

Рождаемость и половозрастные пирамиды

Человек появился на Земле в процессе ее эволюции, как составная часть внешней оболочки и развивается, следуя общим законам биосферы. [20].

В предыдущих главах мы уже говорили о том, что развитие цивилизации является главной причиной изменений, происходящих в природе, к сожалению, в большинстве своем отрицательных.

Как пишет академик Н.Н. Моисеев [20], самое страшное и неотвратимое - мальтузианский кризис: рассогласование растущих потребностей растущего человечества и возможностей их удовлетворения убывающими ресурсами оскудевающей планеты. Еще одна черта мальтузианского кризиса состоит в том, что стремление людей обеспечить свои потребности приводит к разрушению естественных биогеохимических циклов, то есть

естественного круговорота веществ, и неизбежной потере стабильности биосферы как единого организма. Биосфера уже потеряла свою стабильность, и этот процесс в обозримом будущем, по-видимому, необратим.

До первой промышленной революции, когда биосферу еще можно было считать находящейся в равновесии, на долю всех позвоночных, включая человека, приходился лишь 1 % потребления органики, производимой всей биосферой. Сейчас лишь одно человечество использует более 7 % органики, производимой растениями и животными. Это не просто кризис - это громкий сигнал о нарастающей катастрофе.

Другой сигнал связан с ростом концентрации углекислоты в атмосфере. Она и раньше не была постоянной, но биота откликалась на изменение концентрации увеличением или уменьшением фитомассы. В XX веке, когда концентрация углекислоты возросла на 17 %, сколько-нибудь заметного увеличения фитомассы не последовало. Скорее, имеет место обратное явление.

Расчеты показывают, что для возвращения биосферы в равновесие, то есть в состояние, которое обеспечивает бескризисное развитие общества, при современном характере цивилизации, а, следовательно, и уровне потребления (в том числе и энергии), население Земли не может составлять более 500 млн. человек [20].

Последние 150 лет население Земли росло и продолжает расти феноменальными темпами. С древнейших исторических эпох до начала прошлого века численность жителей Земли колебалась около нескольких сотен миллионов человек, то медленно возрастая, то снижаясь из-за эпидемий и волн голода. Только около 1830 г. она достигла численности 1 млрд. ч. Этому в немалой степени способствовало введение новых сельскохозяйственных культур, использование техники, повышавшей эффективность земледелия. Начала практиковаться селекция домашних животных с высокой продуктивностью молока и мяса. Работы Луи Пастера, показавшие, что эпидемии вызываются микроорганизмами, привели к разработке эффективных мер профилактики и лечения заболеваний. Открытие антибиотиков привело к созданию новых лекарственных препаратов. Важнейшим результатом всего этого было резкое снижение младенческой и детской смертности, увеличение продолжительности жизни.

В XVIII - XIX вв. население перешло от состояния медленного роста, перемежающегося спадами, к эпохе взрывообразного увеличения. Около 1930 г., всего через 100 лет после достижения миллиардного уровня, его численность превысила 2 млрд. человек, 30 лет спустя (1960 г.) достигла 3 млрд. и всего лишь через 15 лет (1975 г.) - 4 млрд. Затем, еще через 12 лет (1987 г.) народонаселение Земли перевалило пятимиллиардную отметку, и такой рост продолжается, составляя примерно 90 млн.

(рождаемость минус смертность) человек в год (рис. 3.1.). Население планеты увеличивается быстрее, чем бьется сердце человека, которое совершает примерно 38 млн. ударов в год. В конце 1995 г. Народонаселение Земли достигло 5 млрд. 750 млн. человек. По данным института народонаселения США за 1995 г. на Земле появилось 100 млн. жителей - самый большой прирост за всю историю человечества.

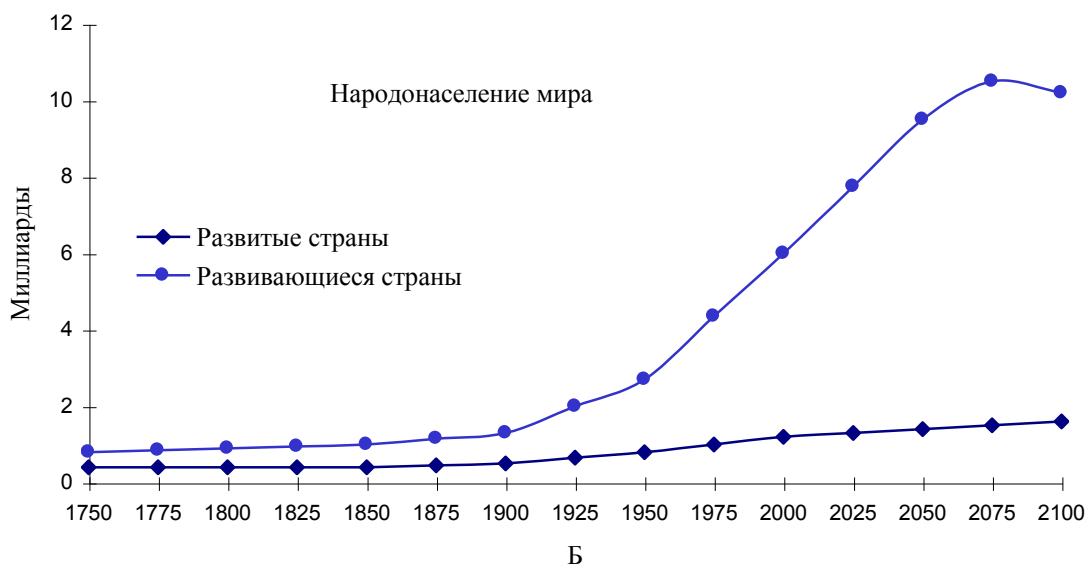
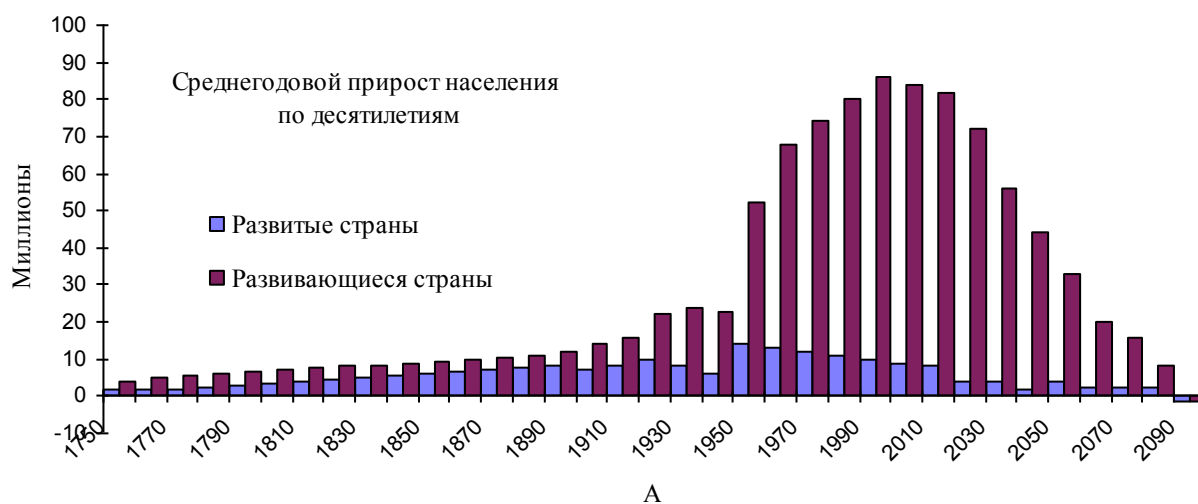


Рис. 3.1. Демографический взрыв

Однако в течение двух последних десятилетий процентные темпы прироста начали снижаться. Несмотря на это, население планеты превысит шестимиллиардную отметку в 1999 г., и, если не произойдет никаких резких перемен, такой характер увеличения популяции сохранится и в XXI в., пока к его концу численность населения не достигнет 10 млрд. человек [19].

Демографические прогнозы являются делом сложным, так как здесь демографы сталкиваются с проявлением стихии поведения миллионов людей - "масс". Даже ретроспективный анализ пока еще очень беден и мало что может дать для выработки рекомендаций, кроме того, огромную роль в демографических процессах играют традиции, религия, воспитание и множество других факторов.

Основным фактором, определяющим диспропорции в темпах прироста населения, является суммарный коэффициент рождаемости (СКР), т.е. среднее число детей, которое рождает каждая женщина в течение жизни (по текущим статистическим данным) [19]. При современном состоянии здравоохранения большинство их доживает до половой зрелости и, в свою очередь, обзаводится детьми. Если предположить, что все дети выживают, СКР, равный 2,0, обеспечит неизменную численность населения: два ребенка заменят отца и мать, когда те умрут. СКР ниже 2,0 приведет к снижению численности населения, СКР выше 2,0 обусловит рост населения. СКР, при котором родителей столько же, сколько сменяющих их детей, т.е. численность популяции остается неизменной, известен как простая воспроизводящая рождаемость (ПВР). Если учесть, что часть детей все-таки не доживает до половой зрелости, для высокоразвитых стран ПВР составляет сейчас 2,03, а для слаборазвитых - 2,2, поскольку младенческая и детская смертность там выше.

Реальная же ситуация такова: СКР в высокоразвитых странах равен 1,9, т.е. несколько ниже уровня простого воспроизведения. Однако население их до сих пор растет, потому что более высокая рождаемость в прошлом привела к тому, что нынешнее поколение достаточно многочисленно и в настоящее время, несмотря на низкий СКР, число новорожденных здесь превышает число умерших. Но уже можно прогнозировать стабилизацию и снижение численности населения, так как нынешнее поколение родителей стареет, умирает и неполностью замещается детьми. СКР в менее развитых странах составляет 4,1. Это практически вдвое превышает простую воспроизводящую рождаемость и приводит к удвоению численности населения в каждом поколении. Неодинаковые СКР через определенное время приводят к резко различным половозрастным пирамидам, отражающим возрастной и половой состав населения. Их обычно изображают в виде гистограммы, демонстрирующей количество людей в каждой возрастной группе, обычно с разницей в пять лет. Полосы, соответствующие мужской половине населения, располагают с одной стороны графика, женской - с другой (рис.3.2., рис.3.3.). Можно видеть, что половозрастная пирамида высокоразвитых стран выглядит как колонна, отражая тот факт, что численности детей, подростков, молодых людей, людей среднего и старшего возрастов примерно одинаковы (рис. 3.2.Б).

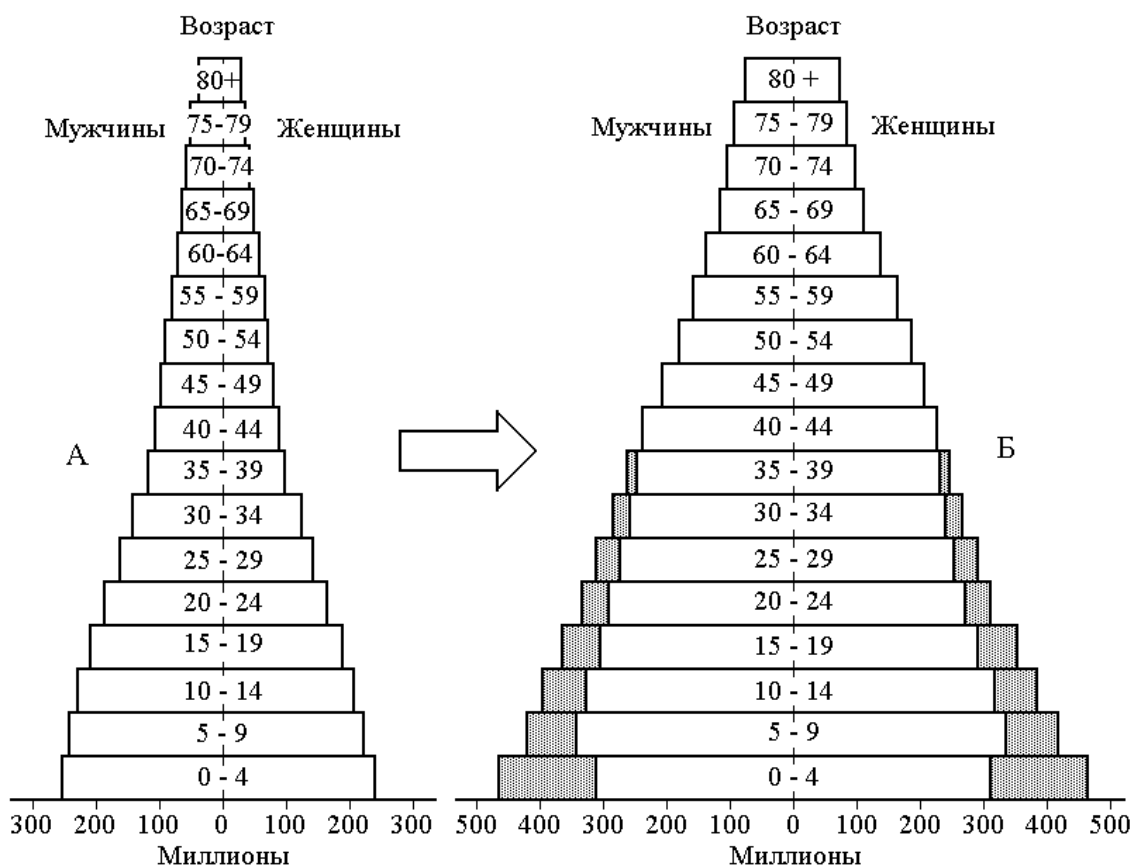


Рис. 3.2. Половозрастные пирамиды для развивающихся стран (А, Б) на 1984 год и по прогнозу на 2024 год

Это объясняется величиной СКР, близкой к простому воспроизводящему уровню, когда каждая возрастная группа как раз замещает предыдущую.

В то же время половозрастная пирамида развивающихся стран представляет собой треугольник с широким основанием, поскольку число детей, рожденных каждой возрастной группой, примерно вдвое превышает её собственную численность (рис. 3.2.А). Это приводит к населению с преобладанием молодежи и относительно небольшой долей людей среднего и старшего возрастов. По статистике в таких странах около 40 % населения моложе 15 лет.

На основе современной половозрастной пирамиды и статистических данных о соотношении рождаемости и смертности можно предсказать структуру будущего населения. Видно, что каждые пять лет все полосы сдвигаются вверх на одну позицию. Верхние при этом укорачиваются, а самая верхняя исчезает, так как глубокие старики умирают. Снизу появляется новая полоса, соответствующая числу родившихся за пять лет. Если СКР останется неизменным, половозрастная пирамида развивающихся стран будет представлять собой треугольник, со все более широким основанием, так как каждое последующее поколение многочисленнее предыдущего и производит на свет еще более многочисленное потомство

(рис. 3.2, В). Половозрастная пирамида развитых стран сохранит свою форму (рис. 3.3, Г).

Таким образом, население развивающихся стран обладает демографическим потенциалом благодаря высокой ны-нешней доле молодых людей, которая приведет к удвоению населения в ближайшем будущем, даже

если рождаемость существенно понизится.

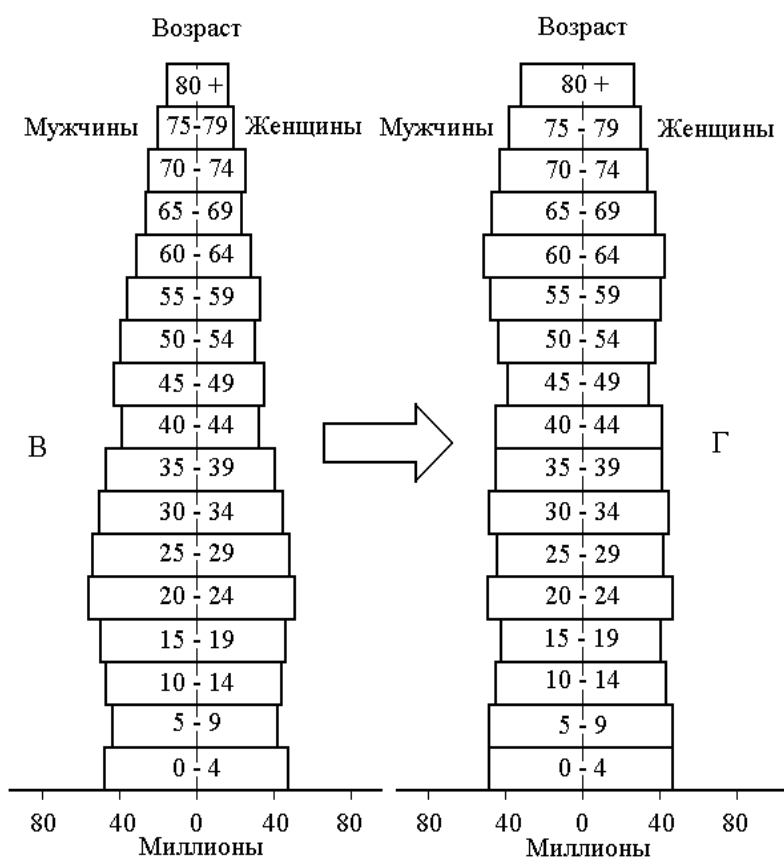


Рис. 3.3. Половозрастные пирамиды для развитых стран (В, Г) на 1984 год и по прогнозу на 2024 год

Предпринимаемые в мире усилия в области планирования семьи привели в последние десятилетия к существенному снижению СКР. Если предположить, что эта тенденция сохранится и в будущем, развивающиеся страны приблизятся к уровню простой вос-

производящей рождаемости к 2025 г. Но при нынешнем демографическом потенциале их население будет продолжать заметно расти до 2080 г.

Следовательно, через 50 - 70 лет мы столкнемся с быстрым ростом населения развивающихся стран, тогда как в высокоразвитых странах оно будет расти медленно или вообще прекратится. (рис. 3.4) Доля их населения станет составлять все меньший процент от общемирового и через 50 лет снизится в нем до 10 % против нынешних 25 % [19]. Первая четверка стран с самой большой численностью населения будет выглядеть следующим образом: Индия, Китай, Нигерия, Пакистан.

Население будет другим и по религиозному составу. Предстоит огромный взлет ислама: с 800 млн. мусульман в 1980 г. до 4,4 млрд. в 2100. А христианство, доминирующее в современном мире, увеличит число своих сторонников всего лишь с 1,4 до 2,2 млрд. человек [21].

О более быстром росте населения развивающихся стран говорят и традиционно используемые демографами показатели - общий коэффициент рождаемости (ОКР) и смертности (ОКС). Это среднее число

рождений и смертей на 1000 человек в год. Вычитая ОКС из ОКР, получают естественный прирост (или убыль) населения. Темпы прироста (или убыли) можно выразить в процентах: для этого результат делят на 10.

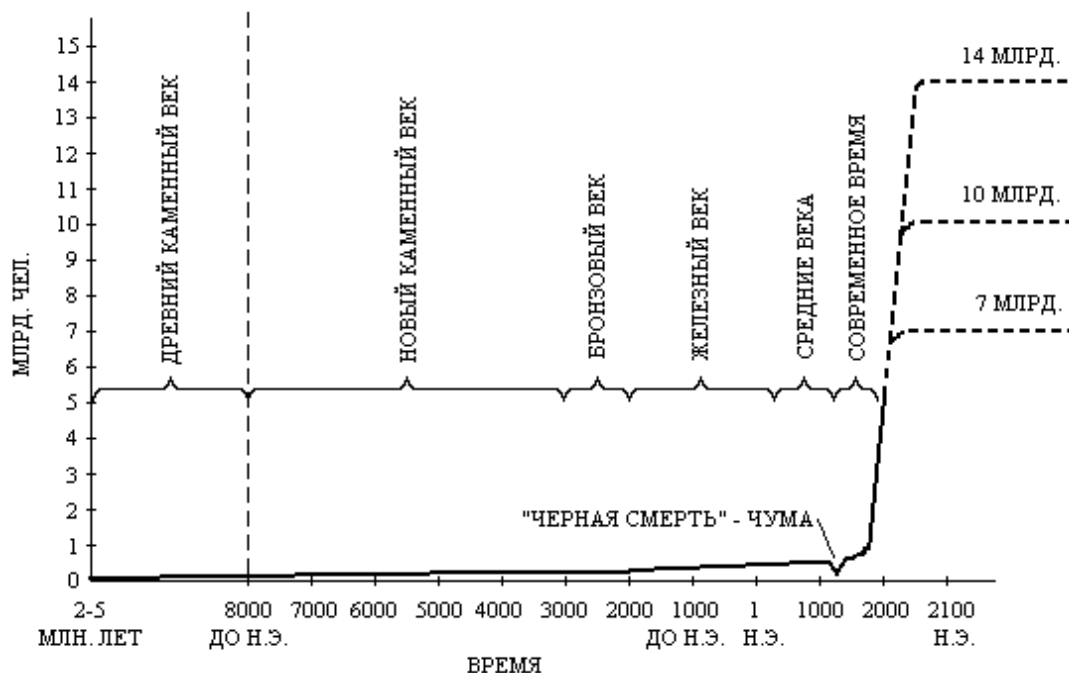


Рис. 3.4. График экспоненциального роста численности населения в прошлом и прогноз на 2100 г. (по данным всемирного банка и ООН)

Современные статистические данные говорят о том, что в группе высокоразвитых стран ОКР в среднем равен 15, ОКС - 9, значит прирост населения - 0,6 % в год:

$$15 - 9 = 6 \text{ (на 1000 чел.)},$$

$$6 : 10 = 0,6 \text{ \%}.$$

При современной численности 1,2 млрд. человек такой прирост приводит к ежегодному увеличению населения развитых стран на 7 млн. человек. В то же время в группе слаборазвитых стран ОКР равен 31, а ОКС - 10, что дает прирост 2,1 % в год. При численности населения этих стран в 1988 г. 3,9 млрд. человек более высокие темпы прироста населения приводят к увеличению населения этих стран примерно на 83 млн. человек ежегодно.

На протяжении двух последних десятилетий в России наблюдается депопуляция населения (смертность превышает рождаемость). Так, например, в Томской обл. в 1993 г. родилось 9120 человек, а умерло 13902 человек, а в первом квартале 1998 г. родилось 2523 человек, умерло 3386 человек. Показатель детской смертности в РФ - 18 на 1000 новорожденных в то время как в Японии он равен 4,4, а в США - 8. Продолжительность жизни сократилась до 59 лет, что на 10 - 12 лет меньше, чем в развитых странах. Мужчины сибирского Севера живут на 22 года, женщины на 14 лет меньше, чем в северных европейских странах.

Растущее население развивающихся стран ради своего повседневного выживания истощает пастбища и почвы, сводит леса на дрова и совершает многие другие безумные с экологической точки зрения действия. Некогда плодородные земли превращаются в пустыню, а это угрожает биосфере в целом. Устойчивое развитие, к которому мы стремимся, требует гораздо большего, чем безучастное наблюдение за происходящим. Для него необходимы конкретные действия, направленные как на снижение рождаемости, так и на охрану окружающей среды.

3.1.2. Проблемы урбанизации

Экономические, природные и социальные условия находятся под воздействием не только роста населения и особенностей его возрастной структуры, но и географического распределения населения между сельскими и городскими районами. В 1900 г. лишь 14 % населения Земли проживало в городских зонах. Сегодня 41 % населения – жители городов: 73 % в развитых странах и 32 % в развивающихся. Предполагается, что к 2000 г. в городах будет проживать две трети населения Земли [18].

Таблица 3.1

Десять наиболее крупных мегаполисов земного шара
в 1985 и 2000 гг. (по данным ООН)

1985		2000	
Токио-Йокогама	18,8	Мехико	25,8
Мехико	17,3	Сан-Пауло	24,0
Сан-Пауло	15,9	Токио-Йокогама	20,2
Нью-Йорк	15,6	Калькутта	16,5
Шанхай	12,0	Большой Бомбей	16,0
Калькутта	11,0	Нью-Йорк	15,8
Большой Буэнос-Айрес	10,9	Сеул	13,8
Рио-де-Жанейро	10,4	Тегеран	13,6
Лондон	10,4	Рио-де-Жанейро	13,3
Сеул	10,2		

Беспрецедентный рост урбанизации в мире привел к возникновению мегаполисов - городов с населением более 10 млн. человек. В 1985 г. было 10 мегаполисов, большая их часть приходилась на развивающиеся страны (табл. 3.1). По прогнозам ООН к 2000 г. количество мегаполисов увеличится до 26, две трети из них будут расположены в развивающихся странах. Такие города страдают от сильного загрязнения воздуха, массовой безработицы, переполненных трущоб. Свалки мусора и стоки

издают зловоние. Люди, живущие в трущобах, лишены канализации и каждый день поставляют тонны отходов в сточные канавы и пустыри. В Мехико, например, более 3 млн. автомобилей, 7 тыс. дизельных автобусов и 130000 фабрик загрязняют атмосферу. Загрязнение атмосферы и воды в Мехико служит причиной 100000 преждевременных смертей в год.

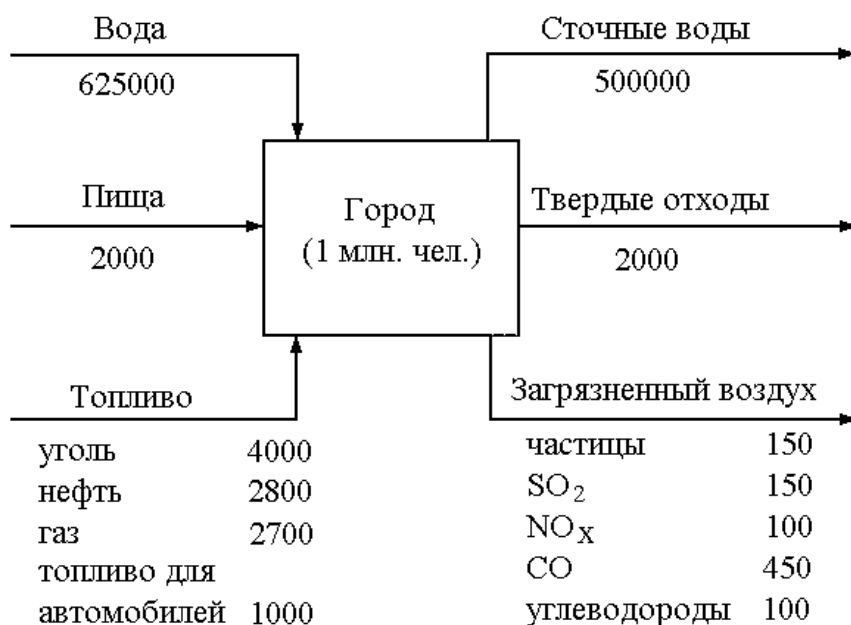


Рис. 3.5. Схема потребления ресурсов, сбросов и выбросов города населением 1 млн. чел. (в тоннах за сутки)

Как в развивающихся, так и в развитых странах урбанизация создает дополнительные проблемы. В городах концентрируются твердые отходы, отмечаются высокие уровни шума, загрязнения воздуха и воды, неотъемлемым условием городов являются стрессы и высокий процент заболеваемости. Городские системы неустойчивы: они зависят от внешних экосистем, поставляющих им продовольствие, воду, энергию, минеральное сырье и другие ресурсы и поглощающих накопившиеся городские отходы. На рис. 3.5. показана схема потребления ресурсов городом с миллионным населением. Здесь же приведены данные по сбросам и выбросам в окружающую среду.

3.1.3. Пути решения демографических проблем

Рассмотрим возможные пути решения проблемы прироста населения в данной критической ситуации.

I. Регулирование численности населения через экономическое развитие

Основные усилия по снижению численности населения сосредоточены на снижении коэффициента рождаемости. В 1960 г. только Индия и Пакистан имели официальные программы по сокращению прироста населения. В наши дни такими программами охвачены 93 % населения мира и 91 % населения развивающихся стран.

Существуют три главных подхода к решению проблемы снижения коэффициента рождаемости: экономическое развитие, контроль рождаемости и социально-экономические изменения [18]. Наиболее оптимальный вариант - сочетание двух подходов - экономического развития и контроля рождаемости, а в ряде случаев - сочетание всех трех подходов.

На основе данных, полученных при изучении темпов прироста и убыли населения западноевропейских стран, которые индустриализировали свою экономику в 19 столетии, американские и европейские демографы разработали модель изменения численности населения. Модель получила название - "переходный период естественного движения населения" (рис. 3.6). Ее основная идея состоит в том, что, когда государства переходят в разряд промышленно развитых, сначала в них резко падает смертность, а вслед за этим и рождаемость. В результате быстрый рост населения замедляется, а затем показатели рождаемости и смертности выравниваются и постепенно численность населения начинает сокращаться [18].

Переходный период состоит из четырех стадий:

1. В допромышленной стадии при суровых условиях жизни наблюдается высокий коэффициент рождаемости (чтобы компенсировать высокую детскую смертность) и высокий коэффициент смертности. Население увеличивается медленно, если вообще увеличивается.

2. Переходная стадия начинается вскоре после начала индустриализации экономики. На этой фазе коэффициент смертности падает из-за увеличения производства продуктов питания, улучшения здравоохранения и санитарно-гигиенических условий жизни людей. Но коэффициент рождаемости остается высоким, и общая численность населения быстро возрастает (обычно на 2,5 - 3 % в год).

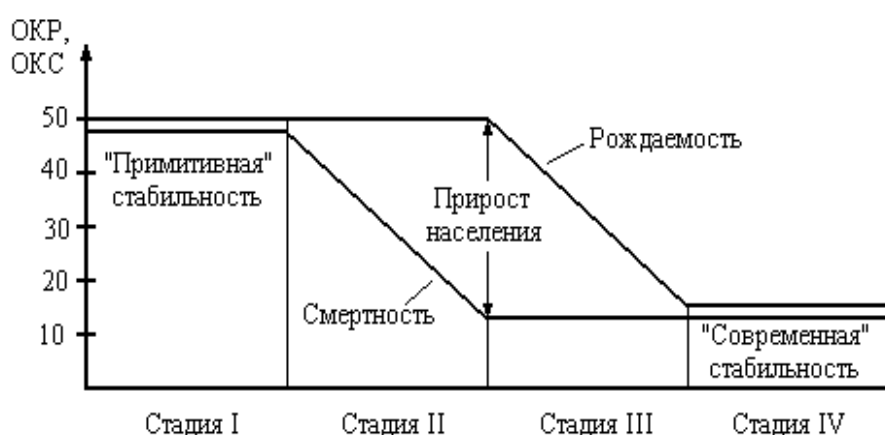


Рис. 3.6. Модель изменения численности населения.
Стадия I – допромышленная;
Стадия II – переходная;
Стадия III – индустриальная;
Стадия IV – постиндустриальная

3. В индустриальной стадии коэффициент рождаемости снижается и по значению постепенно приближается к коэффициенту смертности. Основная причина этого явления заключается в том, что супруги, особен-

но в городах, понимают, насколько дорого обходится воспитание детей. Кроме того, когда детей слишком много, они лишаются преимуществ на рынке труда в условиях развивающейся экономики. Высказываются также предположения, что одной из причин снижения рождаемости является высокий уровень пенсионного обеспечения: функция гаранта благополучия стариков переходит от детей к обществу, в целом, снижая стремление людей иметь много детей. Количество жителей продолжает увеличиваться, но все медленнее, и возможны колебания прироста, зависящие от экономических условий. Большинство развитых стран находятся в настоящее время в этой стадии.

4. Когда наступает четвертая стадия - постиндустриальная, - коэффициент рождаемости уравнивается или даже становится ниже коэффициента смертности, и таким образом достигается нулевой прирост населения. Затем коэффициент рождаемости снижается еще больше, и общая численность населения медленно сокращается. К 1989 г. Австрия, Бельгия, Болгария, Чехословакия, Дания, Германия, Финляндия, Греция, Италия, Венгрия, Люксембург, Норвегия, Португалия, Испания, Швеция, Швейцария и Великобритания достигли или приблизились к нулевому приросту.

Развивающиеся страны находятся все еще в переходной стадии и имеют высокие темпы прироста населения. Без быстрого и устойчивого экономического развития развивающиеся страны могут застрять на этой стадии. В то же время быстрое экономическое развитие развивающихся стран затруднено по многим причинам, например, многие из них не имеют ни средств, ни ресурсов, необходимых для быстрого экономического развития, ни достаточного количества квалифицированных специалистов, владеющих технологиями производства высококачественной продукции, которая выдержала бы конкуренцию на мировом рынке.

С другой стороны, если темпы роста населения в развивающихся странах будут продолжать опережать темпы экономического развития, коэффициент смертности может увеличиться. Это замедлит возрастание численности населения и будет означать, что страна будет скатываться в допромышленную стадию.

Применение данной модели к развивающимся странам, мягко говоря, проблематично: в 19-20 веках, когда Европа и Северная Америка проходили четыре указанные стадии развития, страны этих регионов доминировали в мире в политической, экономической, научно-технической и во многих других сферах. Этого нельзя сказать сегодня о развивающихся странах: в условиях рыночной (конкурентной) экономики доминирующая сторона - развитые страны - не дадут «за так» развивающимся странам ни высоких технологий, ни подготовят для них кадры, способные внедрить высокие технологии в развивающихся странах. Скорее наоборот:

лучшие специалисты - выходцы из развивающихся стран «утекут» в развитые страны, что повсеместно и наблюдается. В последнем случае стоит, возможно, говорить об «ассимиляции» развитых стран наиболее способными выходцами из развивающихся стран уже в 21 веке, что было бы неувидительным при отмеченных выше темпах роста народонаселения данных стран. Но это, как говорят, уже другая история. *Прим. авторов.*

Другая проблема в развитых странах - это замедление темпов прироста населения. В Венгрии и Западной Германии, например, происходит медленное сокращение численности населения. Когда количество жителей в возрасте до 15 лет меньше, чем людей в остальных возрастных группах, можно ожидать сокращение численности населения в течение примерно 60 лет. Единственный способ предотвратить это явление - сделать так, чтобы женщины в репродуктивном возрасте рожали больше детей, или увеличить число иммигрантов. Последнее лишь подтверждает мысль высказанную в первом примечании.

II. Регулирование численности населения через планирование семьи

Программы по регулированию семьи основаны на просвещении и медицинском обслуживании граждан, они помогают семейным парам определить, сколько и когда они могут иметь детей.

Жители развитых стран обычно "автоматически" получают основные знания о планировании семьи и употреблении контрацептивов. Огромная масса молодежи в развивающихся странах необразованна, лишена даже начальных навыков чтения и письма. Эти люди не имеют самого общего представления о процессе размножения, а тем более о контроле рождаемости или о применении контрацептивов [19].

В развитых странах около 70 % женщин в репродуктивном возрасте прибегают к различным формам контроля рождаемости. В развивающихся странах, если в их число включить Китай, только 39 % женщин в этом возрасте практикуют противозачаточные средства.

Службы контроля рождаемости в развивающихся странах были организованы в 1940 и 1950 годах частными врачами и женскими общественными группами. С тех пор Международная федерация по регулированию рождаемости, Фонд помощи трудоустройства ООН, Всемирный банк и другие страны оказывают странам практическую и финансовую помощь в выполнении программ по контролю рождаемости.

Контроль рождаемости экономит государственные средства, сокращая расходы на различные социальные нужды. Контроль рождаемости влечет за собой и улучшение здоровья жителей, так как в развивающихся странах около 1 млн. женщин умирает от болезней, являющихся следствием осложнений в период беременности. Такие программы помогают также контролировать распространение СПИДА и

других болезней, передаваемых половым путем.

В период с 1978 по 1983 г. осуществление программы контроля рождаемости привело к сокращению численности населения в мире на 10 млн. человек, что сэкономило 175 млн. долларов государственных средств на обеспечении жителей продуктами питания, строительстве жилья, производстве одежды, образовании и здравоохранении [18].

III. Регулирование численности населения через социально-экономические изменения

Наряду с рассмотренными выше способами регулирования численности населения правительства некоторых стран вводят экономические стимулы - вознаграждения и штрафы для поощрения сокращения рождаемости. Кроме того, расширяются права женщин: доступ к образованию, трудоустройству, повышение брачного возраста, что также приводит к снижению рождаемости.

Около 20 стран выплачивают небольшие денежные вознаграждения гражданам, которые соглашаются применять контрацептивы или подвергнуться стерилизации. В Индии каждый гражданин, согласившийся на стерилизацию, получает 15 долларов, что эквивалентно оплате труда сельскохозяйственного рабочего за две недели.

В некоторых странах, например в Китае, семейные пары штрафуются, если число детей в семье больше определенного количества, обычно одного или двух. Штрафы могут взиматься в виде особых налогов или прочих платежей. Семьи, в которых число детей превышает установленный лимит, могут быть лишены бесплатного медицинского обслуживания, им сокращают продовольственные пайки, их в первую очередь увольняют с работы. Вместе с наказаниями разработана и система поощрений в виде оплачиваемого отпуска женщинам, перенесшим стерилизацию и аборт; ежемесячного пособия семье с одним ребенком; преимуществ семей с одним ребенком при обеспечении жильем и т.д.

Вместе с улучшением экономической ситуации такие поощрения и наказания позволили Китаю добиться резкого снижения суммарного коэффициента рождаемости с примерно 4,5 в середине 70-х гг. до 2,6 в 1982 г. и 2,4 в настоящее время [19].

Другой социально-экономический путь регулирования численности населения - улучшение условий жизни женщин. Многочисленными исследованиями доказано, что образование является сильнейшим фактором, заставляющим женщину иметь меньше детей. Образованные женщины с большей вероятностью будут зарабатывать на жизнь вне дома, а не ограничиваться только воспитанием ребенка. Они позже выходят замуж, сокращая тем самым свои репродуктивные годы и меньше теряют детей в младенчестве.

Правительства большинства стран регулируют численность населения, разрешая небольшую иммиграцию из других стран. Ряд государств поощряют эмиграцию в другие страны, чтобы снизить пресс населения. И лишь немногие государства, в основном Канада, Австралия и США, разрешают значительную иммиграцию.

3.2. Обеспечение продовольствием

Мировое производство продовольствия более чем удвоилось за период с 1950 по 1984 г., а производство продовольствия на душу населения, в среднем, увеличилось на 40 %. За этот же период среднедушевое производство продовольствия сократилось в 43 развивающихся странах (из них 22 африканские страны), в которых проживает каждый седьмой житель планеты. Прирост в производстве продовольствия в большинстве развивающихся стран с 1950 г. едва соответствовал приросту их населения.

Многие беднейшие слои населения в мире страдают одновременно, и от неполноценного питания и от недоедания. Ежегодно по этой причине умирают от 20 до 40 млн. человек, половину из которых составляют дети в возрасте до 5 лет [18]. Происходит это во многом из-за неудовлетворительного состояния источников пищевой энергии, основными из которых являются:

обрабатываемые земли, с которых человек получает главную часть пищевой энергии - примерно 88 %;

естественные пастбища и лесные угодья поставляют порядка 10 % пищевой энергии;

и, наконец, приблизительно 2 % пищевой энергии человек получает из ресурсов океана.

Вся эта жизнеобеспечивающая система работает на пределе и состояние ее порой сравнивают с напряжением металла перед разрывом.

3.2.1. Состояние обрабатываемых земель.

Механические "болезни" почв

Площадь земельных ресурсов мира составляет 129 млн. км², или 86,5 % площади суши. Пашня и многолетние насаждения в составе сельскохозяйственных угодий занимают около 15 млн. км² (10 % суши), сенокосы и пастбища - 37,4 млн. км² (25 %) [22]. Остальную часть суши составляют земли малопродуктивные и находящиеся в слишком холодном или засушливом климате.

Земельные ресурсы планеты позволяют обеспечить продуктами питания больше населения, чем имеется в настоящее время и будет в ближайшем будущем. Вместе с тем, в связи с ростом населения, особенно

в развивающихся странах, количество пашни на душу населения сокращается. Еще в начале 80-х годов душевая обеспеченность пашней населения Земли составляла 0,45 - 0,5 га, в настоящее время она составляет уже 0,35 - 0,37 га. Обеспеченность пахотными угодьями на человека изменяется в широких пределах. Для Канады она составляет 1,4 га, США - 0,63, Германии - 0,15, Японии - 0,04 га. Для России обеспеченность пашней на душу населения в настоящее время достигает почти 0,82 га.

Ежегодно в мире теряется до 6 - 7 млн. га почвы (0,06 - 0,07 млн. км²). Земельный фонд России в 1992г. составил 1709,6 млн. га. За последние 27 лет площадь сельхозугодий России сократилось на 12,4 млн. га, пашни - на 2,3 млн. га, сенокосов - на 10,6 млн. га. Эти потери практически безвозвратны, ибо разрушенная почва восстанавливается только на протяжении нескольких веков, да и то при счастливом сочетании многих условий. А теряются, в первую, очередь самые продуктивные, самые важные участки, расположенные в дельтовых, пойменных, черноземных областях. Например, при строительстве ГЭС в СНГ затоплено около 12 млн. га сельхозугодий. Только в бассейнах Волги и Днепра затоплено 2,5 млн. га плодородных земель.

Общая площадь земель в России, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых, проведения строительных и геологоразведочных работ, составила в 1991г. 1,1 млн. га, из которых 0,7 млн. га нарушено в период с 1976 по 1991 г. Более 50 % этой площади занимали сельскохозяйственные угодья.

Наиболее распространенным способом полива почв является дождевание, при котором хорошо увлажняется воздух и создается благоприятный климат для растений. Но существующие системы создают, как правило, высокоинтенсивный "дождь", который почва плохо впитывает. А это ведет к неравномерному увлажнению, водной эрозии, нарушению уровней грунтовых вод, засолению, заболачиванию.

В неудовлетворительном состоянии в РФ находится 771 тыс. га орошаемых земель, в том числе из-за недопустимой глубины уровня грунтовых вод - 325 тыс. га, засоления - 292 тыс. га, одновременного наличия недопустимой глубины уровня грунтовых вод и засоления почв - 154 тыс. га. Площади переувлажненных и заболоченных земель, используемых под пашню, в 1990 г. составили 8 млн. га (5,2 % пашни), тогда как в 1985 г. их было 5,8 млн. га (4,5 %).

А между тем известны и уже используются в мире принципиально новые системы полива [23, 24]:

- а) локальное орошение, при котором увлажняются только корнеобитаемые слои;
- б) внутрипочвенное орошение - вода поступает к корням по трубкам.

Эти способы исключают потери от испарения, а если в воду добавить минеральные удобрения, то повышается эффективность их использования и снижается загрязнение окружающей среды.

Эрозия, которая представляет собой процесс перемещения почвы, главным образом, ее верхних наиболее плодородных горизонтов, отнимает у человечества более 3 млн. га плодородных земель в год. Основными факторами эрозии являются ветер и поверхностные воды. С оголенного, лишенного растительности участка с едва заметным уклоном (в 2 град.), вода уносит за год 20 т почвы.

Площадь подверженных эрозии сельскохозяйственных угодий в России составляет 124 млн. га (56 %), из них 87,3 млн. га пашни. На больших площадях происходит снижение продуктивности почв из-за уменьшения содержания гумуса. Только за последние 20 лет запасы гумуса сократились на 25 - 30 %, а ежегодные потери в целом по РФ составляют 1,4 млн. т. По данным агрохимического обследования, в России 37,5 млн. га пашни характеризуется низким содержанием гумуса [22].

В естественных условиях эрозия является неизбежным следствием совокупной деятельности вод и ветра. Однако корни растений обычно защищают почву от чрезмерного разрушения. Темпы эрозии в значительной степени ускоряются в результате хозяйственной деятельности человека, приводящей к уничтожению растительного покрова - распашки земель, вырубке лесов, строительства и т.д.

Почва, особенно ее верхний слой, считается возобновимым ресурсом, так как под влиянием природных процессов происходит постоянный процесс ее восстановления. В тропических и средних широтах на восстановление почвенного слоя толщиной в 1 дюйм (2,54 см) требуется от 200 до 1000 лет в зависимости от климата и типа почвы [18]. Однако, если средние темпы эрозии превышают темпы почвообразования, происходят необратимые изменения, и почвы на этом участке переходят в разряд невозобновимых ресурсов. Сегодня на одной трети возделываемых земель планеты пахотный слой разрушается быстрее, чем восстанавливается. Ежегодно в реки, озера и океаны смывается столько почвы, что ею можно было бы загрузить товарный поезд, длины которого хватило бы, чтобы 150 раз опоясать земной шар.

В засушливых регионах мира сочетание природных процессов и хозяйственной деятельности человека приводит к увеличению площади пустынь - так называемому опустыниванию. Опустынивание большей частью происходит вблизи границ существующих пустынь. Оно вызывается обезвоживанием верхних горизонтов почвы в период продолжительных засух и повышенным испарением из-за высоких температур и сильных ветров. Разрушительная деятельность человека,

например, сверхинтенсивное использование пастбищ, обезлесивание, открытая разработка полезных ископаемых и т.д. значительно ускоряют темпы опустынивания. В Калмыкии опустыниванию подвержено 4,9 млн. га, из которых 1,8 млн. га находятся в стадии очень сильного опустынивания. В Астраханской области площадь деградированных пастбищ составляет 1,3 млн. га, из них 250 тыс. га - подвижные пески.

Состояние почвы зависит от приемов и методов ее обработки. В предыдущей главе мы говорили о том, что почва - биокосное вещество, представляющее собой единство живого и неживого. При нарушении плотности, температуры, влажности, набора химических элементов или почвенной органики (населенность почв большая, чем морей и океанов - она составляет 1/10 часть ее массы) почва разрушается.

Почва разрушается тяжелыми сельскохозяйственными машинами. Для получения урожая сельхозмашинам по полю нужно проехать в общей сложности 20 раз за сезон. Техника "тяжелеет", растет нагрузка на тело почв, они "слипаются", уменьшается их "население", падает плодородие. Средний трактор давит на почву с силой 800 г/см². По подсчетам ученых, более или менее щадят почву только гусеничные тракторы. Это только механическое воздействие, еще ведь есть утечки горючесмазочных материалов и выхлопные газы, которые поглощаются землей (почвой).

Физическому уничтожению почв, их эрозии особенно "помог" отвальный плуг. Традиционно первым этапом в выращивании урожая была (и в значительной мере остается) распашка, основным назначением которой является сведение сорняков. При этом в глубину земли уходят растительные остатки, которые должны разлагаться на поверхности, обогащая почву органическими веществами. Аэробные бактерии, которые должны быть наверху, попадают вниз, анаэробные - на поверхность. Так почвы медленно умирают.

К перечисленному выше нужно отнести прямые потери из-за отвода сельскохозяйственных угодий под городские постройки, дороги, аэродромы и пр. Так, при прокладке трубопроводов нормами предусмотрено отторжение на каждые 100 км - 400 га, при прокладке дорог - на каждые 100 км - 200 га. Это, так называемые, полосы отчуждения.

В развитых странах урбанизация поглощает ежегодно около 3 тыс. км² продуктивных земель. Всего же разрастающиеся города мира к концу столетия могут поглотить площади, способные прокормить около 120 млн. человек. А через 100 лет человечество может потерять две трети площадей, пригодных для земледелия.

Наряду с "механическими" травмами почвы страдают "химическими" болезнями. В первую очередь из-за нерационального применения минеральных удобрений.

Миллионы тонн азота, фосфора, магния и калия вместе с урожаем изымаются из почв. Их перемещение обедняет почвы одних районов и загрязняет другие. Только азота мировым урожаем из почв выносится более 100 млн. т. Промышленность, производящая азотные удобрения, может сегодня восполнить лишь четвертую его часть. И если бы не микроорганизмы, усваивающие азот из воздуха и переводящие его в пригодные для питания корней формы, человечество осталось бы без продуктов. Минеральные удобрения временно спасли разрастающееся человечество: 1 кг удобрений позволяет получать до 5 – 6 кг прибавок зерновых урожаев. Благодаря им за последние 30 лет сбор урожаев зерновых увеличился на четверть, правда, потребление азотных удобрений возросло почти в 8 раз. Такое несоответствие объясняется несовершенством твердых удобрений - содержание полезно действующих веществ в них составляет примерно 40 %, из которых растения усваивают не больше половины. Остальная масса выносится в реки, грунтовые воды, остается в почвах, загрязняя все это. Нарушение круговорота азота способствует накоплению его в нитратной и нитритной формах в воде, почве, продуктах питания. Потребление нитратов в количествах 8 – 15 г вызывает у людей рвоту, расстройства деятельности желудочно-кишечного тракта, нарушение кровообращения, образование злокачественных опухолей.

Еще один загрязнитель, сознательно вносимый человеком в почву - пестициды. Все виды пестицидов представляют собой яды и поражают не только животных - вредителей, сорняки и возбудителей болезней культурных растений, но и много других полезных животных и растений.

В США обрабатывается пестицидами 61 % сельскохозяйственных земель (половина объема использованных пестицидов идет на обработку только технических культур), в СНГ - 87 % [24]. Подсчитано, что 98 % инсектицидов (против насекомых и фунгицидов (против грибковых заболеваний), 60 - 95 % гербицидов (против сорняков) не достигают объектов подавления, а попадают в воду и воздух, накапливаются в почве и продуктах питания. Кроме этого применяют еще и зооциды (против грызунов), которые создают в почве безжизненную среду.

Пестициды, содержащие хлор, фтор и ртуть, обладают чрезвычайной биологической активностью, высокой химической активностью, способностью накапливаться в различных звеньях пищевой цепи. Даже в ничтожных концентрациях подавляют иммунную систему организма, снижают умственную и физическую работоспособность человека. В более высоких концентрациях эти вещества оказывают мутагенное, канцерогенное и тератогенное (повреждающее зародыши) действие, поражают нервную систему, пищевой тракт, нарушают детородные функции женщин.

Еще одна проблема - увеличение кислотности почв. Заводы,

фабрики и особенно теплоэлектростанции выбрасывают ежегодно в атмосферу десятки млн. тонн окислов серы, азота, которые путешествуют на сотни км и выпадают на землю кислотными дождями. Дожди эти угнетают не только почвы и растения, они снижают приросты древесных пород, сокращают рыбные запасы, влияют на здоровье людей. Большая часть почв раскисляется в пригородной зоне. На поливаемых кислыми дождями землях урожаи сокращаются на 40 %.

Почвы вокруг больших городов и крупных предприятий цветной и черной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, машиностроения на расстоянии в несколько десятков километров загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами, соединениями фтора и другими токсичными веществами. В почвах 85 городов РФ, особенно в пятикилометровой зоне вокруг них, среднее содержание свинца находится в пределах 0,4 - 80 значений предельно допустимой концентрации [22].

В [25] приведены результаты исследования содержания тяжелых металлов в почвах Томска и Томской области. Так, в почвах Кировского района и Иркутского тракта содержатся тяжелые металлы I класса опасности - кадмий, ртуть, свинец, цинк; в Ленинском районе - вещества 2 класса опасности: кобальт, никель, медь, хром. Достаточно высокое содержание этих металлов обнаружено в почвах Томского района, причем в Кемерово ситуация по загрязнению почв значительно лучше, чем в Томске, что объясняется меньшим количеством вредных производств. Содержание многих элементов в растениях увеличивается по сравнению с их содержанием в почве, так как растения усваивают дополнительное количество этих элементов из воды и воздуха.

После аварии на Чернобыльской АЭС на территории России в 14 областях образовались зоны загрязнения местности цезием-137 общей площадью почти 55,1 тыс.км². По воздействию на окружающую среду аварию на Чернобыльской АЭС следует рассматривать как малую атомную войну, которая нанесла непоправимый ущерб земельным ресурсам: сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных и лесных угодий практически навсегда выведены из строя [22].

В Свердловской, Челябинской и Курганской областях загрязнена радиоактивными элементами площадь около 4000 км². Загрязнение является следствием аварийных ситуаций 1949, 1957 и 1967 гг., а также производственной деятельности комбината "Маяк". Гамма-излучение от радиоактивных элементов, в частности, от цезия-137, составляет около 60 мкР/ч, что в несколько раз превышает естественный радиоактивный фон.

Исследования, которые проводились в ТПУ, позволили выявить даже на удалении около 80 км от Сибирского химического комбината аномальные концентрации некоторых радионуклидов в почвах [26]. Подоб-

ные аномалии появились в результате нормальной производственной деятельности СХК, тем более высокая плотность загрязнения почв некоторых населенных пунктов (д. Георгиевка и Наумовка) возникла в результате взрыва на радиохимическом заводе СХК 6 апреля 1993 года.

Интенсивное загрязнение почв, отторжение территорий, в том числе и сельскохозяйственных, происходит в результате захоронения радиоактивных отходов, особенно, если при этом не соблюдаются регламенты.

Таким образом, почва - незаменимая основа продовольствия - нуждается в защите и сохранении.

3.2.2. Леса и пастбища - поставщики пищевой энергии

Леса выполняют жизненно необходимую экологическую функцию. Залесенные водосборы функционируют как гигантские губки, абсорбирующие, накапливающие и постепенно отдающие воду, подпитывая ручьи, реки и подземные горизонты. Леса регулируют сток с гор на равнинные распаханые и городские земли, способствуют предотвращению эрозии почв, наводнений, регулируют количество наносов, поступающих со стоком в реки, озера, водохранилища.

Леса играют важную роль в глобальных круговоротах углерода и кислорода. Благодаря процессу фотосинтеза деревья очищают воздух, поглощая диоксид углерода и выделяя кислород. Когда же деревья вырубаются и сжигаются, содержащийся в них углерод поступает в атмосферу в виде диоксида углерода. Сведение лесов приводит также к окислению и выделению в воздух углерода, накопившегося в почве под деревьями. Таким образом, крупномасштабное обезлесение вносит заметный вклад в создание парникового эффекта.

Леса служат естественным местообитанием для большего, чем в любых других экосистемах, числа диких видов растений и животных. Это делает их крупнейшим на нашей планете хранилищем биологического разнообразия. Кроме того, леса поглощают шум, многие загрязняющие воздух вещества и благотворно влияют на настроение людей, обеспечивая их потребность в уединении и красоте.

Согласно оценке, приведенной в [18], за 50 лет жизни среднее дерево в тропическом лесу обеспечивает "экологический доход" от производства кислорода, сокращения загрязнения воздуха, контроля эрозии и почвенного плодородия, регулирования водного режима, обеспечения местообитаний для диких животных и производств протеина в размере 196250 долларов. Проданное же как древесина, оно принесет лишь около 590 долларов.

Тропические леса - источник половины всей добываемой в мире твердой древесины. Среди пищевых продуктов, получаемых в

тропических лесах - кофе, какао, специи, орехи, фрукты. Сырье для четверти всех медикаментов, которые мы используем, получают из растений, произрастающих в тропических лесах. Аспирин производится на основе вещества, выделяемого из листьев тропических ивовых деревьев. Около 70 % перспективных лекарств против рака может быть получено из растений тропических дождевых лесов.

Чудом Сибири, жемчужиной тайги, хлебным деревом называют кедр. Ядро его ореха содержит до 60 % жира, 20 % белка, 12 % крахмала, 4 % клетчатки, а также целый комплекс витаминов, улучшающих состав крови и благотворно влияющих на кожную ткань. Кедровое масло по калорийности не уступает куриным яйцам, оно хорошее средство при лечении легочных и почечных заболеваний [24].

Среди главных причин сведения лесов следует выделить следующие:

- освоение новых территорий под сельское хозяйство;
- получение древесины для строительства, деревообрабатывающей и бумажной промышленности;
- получение топлива для приготовления пищи и обогрева;
- лесные пожары.

Развитые страны пережили массовую вырубку лесов еще до и во время Промышленной революции, что привело к тяжелым для них последствиям, например, снижению плодородия многих земель. Однако промышленно развитые страны, в целом, осознали эту проблему и в настоящее время восстанавливают леса со скоростью, во всяком случае, равной скорости их вырубки. Для двух третей населения (около 2,5 млрд. чел.) эра современной энергетики еще не наступила. Дрова все еще нужны для обогрева и приготовления пищи. Даже в городах многие используют древесный уголь, производимый в сельской местности путем вырубки и обжига древесины. Приблизительно 60 % этих людей вырубают леса быстрее, чем те растут. В некоторых странах вырубка идет в пять раз быстрее лесовосстановления.

С начала этого столетия площадь под африканскими лесами сократилась почти вдвое, а в отдельных странах в 5 - 10 раз. Так, в Эфиопии в начале века лесные массивы располагались на 40 % территории. Сейчас под лесами осталось лишь 3,5 %. В Индии 40 лет назад леса занимали 22 % территории, сейчас на их долю едва приходится 10 % [21].

Опасными темпами исчезают леса Сибири. Здесь ежегодно вырубаются более полумиллиона гектаров лесов, тогда как новые посадки осуществляются лишь на одной трети вырубок. Ученые фиксируют изменение сибирского ландшафта. В большинстве случаев на месте вырубок начинается заболачивание местности. Поскольку вырубают, прежде всего,

сосновые, а то и кедровые, наиболее ценные леса, то повсеместно наблюдается обеднение лесного покрова. В 1988 г. Томская тайга горела 500 раз. Способствует пожарам в сибирских лесах обслуживающий персонал нефтепроводов, выжигающий нефть: весной 1989 г. по вине рабочих Александровского управления нефтепроводов сгорело 25 га кедровой тайги [24].

Итак, под натиском человека леса отступают на всех континентах, практически во всех странах, но особенно массивное уничтожение лесного покрова происходит в тропическом поясе.

Леса спасают от опустынивания пастбища планеты, на которых кормится около 3 млрд. голов скота.

Каждый вид пастбища имеет свою емкость поголовья – максимальное число травоядных животных, которое данная территория может обеспечить пищей. Емкость зависит от сезона, состояния пастбища, его предшествующего использования для выпаса, ежегодных климатических условий, типа почв, вида выпасаемых животных и периода выпаса.

Выпас от слабого до умеренного необходим для нормальной жизнедеятельности пастбищных экосистем. Он поддерживает круговорот воды и питательных веществ, обязательный для нормального роста злаков и развития корневой системы, сдерживания почвенной эрозии и накопления органического вещества в почве.

Перевыпас наблюдается в тех случаях, когда слишком много выпасаемых животных долго кормятся на пастбище и превышают его емкость. Крупные популяции диких травоядных могут вызвать перевыпас во время длительных засушливых периодов. Но, в основном, перевыпас бывает обусловлен продолжительным выпасом на определенном участке чрезмерного количества домашнего скота.

Сильный перевыпас превращает сплошной травяной покров в отдельные задернованные пятна и увеличивает подверженность почвы эрозии. Иногда перевыпас настолько силен, что исчезает вся растительность и образуются бесплодные пустыни, особенно подверженные эрозии. Перевыпас в сочетании с длительной засухой может превратить потенциально продуктивное пастбище в пустыню. Вездеходные машины также повреждают или разрушают растительный покров пастбищных угодий.

Недостаточный выпас также способен ухудшить состояние пастбища как источника пищи для домашнего скота и многих диких травоядных. В этом случае остается неповрежденной большая часть листьев и стеблей, что заглушает рост травы и смещает процесс сукцессии с злаковых трав на древесные растения и разнотравье. Недостаточный выпас, подобно перевыпасу, приводит к нарушению циклов питательных веществ и воды, увеличивает эрозию и деградацию почв.

Две трети пастбищ США пребывают в удовлетворительном и плохом состоянии [18]. В Ираке поголовье скота превышает предельные емкости пастбищ в четыре раза, в Сирии - втрое. И в России в некоторых регионах нагрузки на природу превышают имеющийся природно-ресурсный потенциал. Пример тому - Калмыкия. Здесь ранее никогда не было более 890 тыс. овец, давали они по 25 кг мяса каждая. Теперь овец не менее 4 млн. Оптом они дают продукции столько же, как прежние 890 тыс., но худшего качества. Оказывается, что продуктивность пастбищ выше, когда ими пользуются дикие животные. Так, с 1 га африканской саванны получено 150 кг мяса диких животных, откорм же на аналогичной площади домашних дал в 6 раз меньше. Человек просто не научился безболезненно вписывать в природу свое животноводство. Контроль за распределением по пастбищу пасущихся животных - лучший способ предотвратить перевыпас и недovyпас. С этой целью скотоводы могут строить ограждения для защиты деградированных пастбищ, перегонять скот с одного пастбища на другое, обеспечивать дополнительное питание на специальных участках, размещать воду и соль в ключевых местах.

3.2.3. Мировые рыбные промыслы

Третий источник продуктов - рыболовство. Мы получаем с пищей в среднем 4 % белков животного происхождения, непосредственно потребляя рыбу и ракообразных, и 5 % косвенно за счет рыбы, скармливаемой скоту. Этот источник животных белков богаче говядины, в два раза богаче яиц, в три раза богаче птицы. В большинстве азиатских прибрежных стран на долю рыбы и ракообразных приходится от 30 % до 90 % получаемого населением белка животного происхождения.

Около 87 % годового коммерческого улова рыбы и ракообразных приходятся на моря и океаны, а остальная часть - на пресноводные источники. Почти половина мирового промышленного улова морских рыб приходится на долю пяти стран: Японии (16 % улова), СНГ (13 %), Китая (7 %), США (6 %) и Чили (6 %).

В период с 1950 по 1970 годовой промышленный улов рыбы утроился и достиг рекордного уровня - 70 млн. т. Увеличение лова рыбы значительно превышало увеличение производства любого другого продукта питания за то же время. Это вызвало в широких кругах общественности оптимизм и надежду на то, что мировой улов рыбы вскоре увеличится до 100 млн. т. в год, что по оценкам, равняется максимально допустимому объему добычи.

Однако этого не случилось. Население мира продолжало расти, а это означало, что в период с 1970 по 1986г. средний улов рыбы в душевых показателях уменьшился, несмотря на незначительное увеличение объемов

годового улова. Ожидается, что из-за чрезмерного вылова рыбы, загрязнения океана, роста населения и повышения спроса на рыбную продукцию средний улов рыбы на душу населения снизится к 2000 году до уровня 1960 года (~ 40 млн. т).

Чрезмерный вылов рыбы означает, что рыбы вылавливается так много, что ее почти не остается для восстановления численности популяции. К началу 1980 г. из-за чрезмерного вылова истощились запасы 42 ценных видов рыб. В их числе треска и сельдь в Северной Атлантике, лосось и аляскинский королевский краб в северо-западной части Тихого океана, а также перуанские анчоусы в юго-восточной части Тихого океана.

3.3. Способы увеличения мирового производства продовольствия

3.3.1. Охрана почв

Мероприятия по охране почв включают использование различных методов, направленных на снижение эрозии почвы, предотвращение выноса питательных веществ и восстановление плодородия, утраченного в результате эрозии, выщелачивания и чрезмерной эксплуатации сельскохозяйственных угодий [27].

В подразделе 3.2.1 мы уже обсуждали вопрос, касающийся обработки почвы. При обычной обработке почвы ее пахут, обрабатывают дисковым культиватором и выравнивают. Если для весеннего сева пахоту производят осенью, то почва остается оголенной в течение всей зимы и первых весенних месяцев, что делает ее уязвимой для эрозии.

Известны почвозащитные методы земледелия - безотвальная, беспашотная (минимальная) обработка почвы. В нашей стране безотвальная обработка почвы впервые была осуществлена академиком Т.С. Мальцевым.

При безотвальной обработке старинный отвальный плуг заменяется клинообразными или плоскорезными орудиями, оставляющими поля как бы нетронутыми, без отвала пласта, но разрыхленными в глубине, а с поверхности скрепленными остатками растительных корней.

При беспашотной (минимальной) обработке почвы семена, удобрения и гербициды вносятся в борозды, сделанные в почве без ее пахоты специальными машинами.

При такой обработке почвы лучше сохраняются, больше накапливают влаги, на меньшую глубину промерзают, их в местной степени разрушают талые воды. Урожай при использовании почвозащитных методов такой же или выше, чем при традиционном возделывании почвы. Методы эти можно использовать в течение трех - семи лет, затем все же

необходима интенсивная вспашка для сохранения высоких урожаев.

Недостатком поверхностной обработки земель является необходимость обязательного применения гербицидов для борьбы с сорняками.

По оценкам Министерства сельского хозяйства США, использование поверхностной обработки земли на 80 % площади позволит снизить эрозию почвы по меньшей мере наполовину. В настоящее время технология сокращенной обработки почвы распространена почти на трети сельхозугодий США, в нашей стране - на пятой части пашни.

Темпы эрозии почвы на пологих склонах могут быть снижены примерно на 30 - 50 % за счет применения контурного земледелия - пахоты поперек, а не вдоль склона. Каждый ряд растений, высаженных под прямым углом к склону, служит в качестве маленькой плотины, которая помогает удерживать почву и замедляет сток воды.

На более крутых склонах используется террасирование. Склон преобразуется в ряд широких, почти ровных террас с незначительным расстоянием между ними по вертикали. Каждая из террас задерживает часть воды, стекающей вниз по склону. В районах с большим количеством осадков за каждой террасой строятся отводные каналы в целях обеспечения необходимого дренажа.

При полосной обработке почвы одна широкая полоса обработанной земли отводится под сельскохозяйственную культуру, например, кукурузу, а следующая полоса засеивается покровной культурой, такой, как люцерна, которая полностью закрывает почву и таким образом снижает эрозию. Чересполосица, практикуемая на горных склонах, в сочетании с террасированием и контурным земледелием, может сократить потери почвы до 75 %.

Снижение эрозии достигается и при аллейном земледелии, когда сельскохозяйственные культуры засеиваются аллеями между живыми изгородями из фруктовых деревьев и кустарников, дающими плоды и дрова.

На склонах гор, не покрытых растительностью, под воздействием поверхностного стока быстро образуются овраги. Такие земли могут быть восстановлены за счет укрепления оврагов. Небольшие овраги засаживают такими быстрорастущими культурами, как овес, ячмень, пшеница, с тем чтобы уменьшить эрозию. В глубоких оврагах строят небольшие плотины для удерживания наносов и постепенного заполнения самого оврага. Для укрепления почвы высаживаются быстрорастущие кустарники и деревья.

Ветровую эрозию пахотных земель можно снизить ветрозащитными или лесозащитными полосами. Лесозащитные полосы особенно эффективны в тех случаях, если необрабатываемая земля покрыта растительностью. Деревья также являются средой обитания птиц, поедающих вредителей, насекомых, которые опыляют растения.

Для частичного восстановления питательных веществ, потерянных почвой в результате эрозии и сбора урожая, в почву могут вноситься органические удобрения, являющиеся альтернативой минеральным. В числе трех основных видов органических удобрений - навоз животного, перегной растительного происхождения и компост. Навоз животного происхождения является органическим удобрением из твердых и частично жидких экскрементов крупного рогатого скота, лошадей, птицы и других сельскохозяйственных животных. Применение навоза животного происхождения улучшает структуру почвы, увеличивает содержание в ней азота и стимулирует рост и воспроизводство почвенных микроорганизмов.

Перегной растительного происхождения образуется из естественных или культивируемых зеленых растений, которые запахиваются в почву для увеличения содержания в ней органического вещества и гумуса для повышения урожайности в следующем году. Он может состоять из сорняков на необрабатываемых землях, трав и клевера на полях, ранее используемых под пастбища, из растений семейства бобовых, которые выращиваются для использования в качестве удобрений для увеличения в почве запасов азота.

Компост представляет собой богатое естественное удобрение. Готовят его, накапливая чередующиеся слои богатых углеводами растительных остатков (листья и обрезки деревьев), навоза животного происхождения и почвы. Эта смесь изобилует микроорганизмами, которые способствуют разложению навоза и растительных остатков.

Еще один способ, призванный предотвратить истощение питательных веществ в почве - севооборот сельскохозяйственных культур. Этот метод помогает восстановлению в почве питательных веществ, снижает эрозию, сохраняя растительный покров, а также снижает число вредителей и заболеваемость растений.

Человек пока не может отказаться от применения пестицидов, но необходим строгий контроль за их применением, соблюдение требований безопасности, хранения и транспортировки.

Известны биологические способы борьбы с вредителями – применение насекомых, микроорганизмов, растений. Например, трихограмма - насекомое, самка которого откладывает яйца в кладки других насекомых. Личинка, развиваясь в яйце хозяина, губит его. Трихограмма способна уничтожить около 200 видов листогрызущих вредителей на многих миллионах гектар. Использование ее в 4-5 раз экономичнее ядохимикатов, чего к сожалению нельзя сказать о других биопрепаратах. В среднем затраты на обработку ими 1 га втрое больше, чем на химическую защиту.

3.3.2. Увеличение мирового производства продовольствия

1. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур

Ученые, занимающиеся проблемами сельского хозяйства, надеются, используя достижения генной инженерии и другие формы биотехнологии, создать в ближайшие 30 - 40 лет новые высокоурожайные сорта растений, которые будут более устойчивы к вредителям и болезням, менее требовательны к удобрениям. Вырабатывая сами азотное удобрение, они будут хорошо расти на слабо засоленных почвах, смогут противостоять засухам и будут более эффективно использовать солнечную энергию в процессе фотосинтеза [27]. Правда, стоимость таких культур будет слишком высока.

2. Возделывание новых площадей земли

Теоретически площадь пахотных угодий планеты может быть удвоена за счет расчистки тропических лесов и орошения засушливых земель. Но превращение этих малопригодных земель в пашню уничтожит ценные лесные ресурсы, приведет к возникновению серьезных экологических проблем и, как правило, экономически не выгодно.

На рис. 3.7 представлена классификация земель.

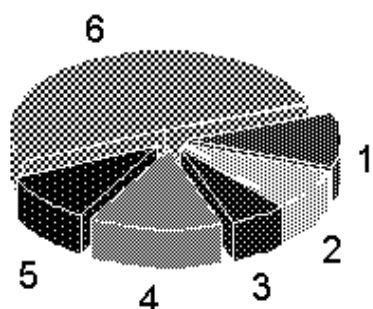


Рис. 3.7. Классификация земель.

1. Используемые земли. Посевная площадь 11 %.
- 2-3. Потенциальная пашня:
 2. Тропические леса 8 %;
 3. Засушливые земли 6 %.
4. Потенциально пригодные земли. Леса и засушливые земли 14 %.
5. Используемые земли под пастбища 10 %.
6. Земля, не используемая под пашню или пастбища: ледники, снега, пустыни и горы 51 %

Во влажных тропических лесах выпадает большое количество осадков, а урожай здесь можно выращивать практически в течение всего года. Однако часть почв тропических лесов не пригодна для интенсивного возделывания. Около 90 % необходимых растениям питательных веществ находятся в лесной подстилке и в растительности, а не в почве. В лесах умеренного климата, например, лишь 3 % питательных веществ находится под землей. Почти 75 % площади бассейна Амазонки, где расположена примерно треть потенциальных сельскохозяйственных угодий, имеют малоплодородные почвы с высокой степенью кислотности.

Теплый климат, высокая влажность благоприятствуют существованию огромных популяций насекомых-вредителей и возникновению болезней, способных уничтожить урожай. Научные исследования показывают,

что выращенный в тропиках урожай подвергается нападкам насекомых и болезням в 10 раз больше, чем урожай, получаемый в умеренном климате.

3. Нетрадиционные продукты питания

Из всех видов растений (более 300 тыс.) потенциально пригодны для употребления в пищу 75 тыс. видов. За всю историю человечество «попробовало» 3 тыс. видов, а культивировало - 150. Сейчас в основе потребляемых нами продуктов питания содержится всего 20 видов растений. И не потому, что остальные несъедобны. Просто они непривычны.

4. Увеличение уловов и разведение рыбы

В настоящее время из 16 тыс. известных видов рыб промысловыми считаются около 1,5 тыс., из которых отлавливается 10 - 15 видов. Всего же в океане насчитывается более 150 тыс. видов живых организмов, а в качестве пищевых продуктов используется около 2 тысяч. При этом большая часть улова производится в районах Тихого океан и Атлантики.

Некоторые ученые полагают, что мировой промышленный улов рыбы и ракообразных может быть увеличен до 100 млн. т. в год. Обнадеживает тот факт, что Конвенции ООН 1982 г. По вопросам морского права подписали 159 государств. Этот договор дает всем прибрежным странам юридическое право контролировать лов рыбы собственным рыболовным флотом и иностранными судами в пределах 364-километровой зоны от побережья. В случае соблюдения этот договор способен существенно сократить чрезмерный вылов. Мировой улов рыбы можно также увеличить за счет вылавливания большего количества кальмаров, осьминогов, антарктического криля и других недоиспользуемых в настоящее время видов.

Другой путь расширения производства рыбы связан с сокращением количества отходов. В настоящее время на их долю приходится пятая часть среднегодовой добычи. В основном это потенциально полезная рыба, но не та, на которую ведется лов. Увеличение улова может быть достигнуто также за счет более широкого применения на судах холодильных установок для предотвращения порчи рыбы. Эксперты полагают, что объем ежегодно выращиваемой на пресноводных и морских аквафермах продукции к 2000 г. увеличится в три раза. На долю аквакультуры приходится около 8 % мирового промышленного улова рыбы.

5. Устойчивое сельскохозяйственное производство

Решить проблему голода в мире, снизить загрязнение и деградацию окружающей среды, обусловленные сельским хозяйством, можно за счет перехода к устойчивому сельскохозяйственному производству. Это производство сочетает современные методы индустриального и мелкотоварного сельского хозяйства с новейшими сельскохозяйственными технологиями. Оно направлено на эффективное использование местных климатических условий, почв, ресурсов и культурных традиций.

Глава 4. ПРОБЛЕМА СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Научно-техническая революция создала огромные возможности для покорения сил природы: человечество начало осваивать все доступные возобновимые и невозобновимые ресурсы. Использование некоторых находится на пределе. Общее потребление природных ресурсов возросло за 10000 лет в сто раз [1].

Несовершенство современной технологии не позволяет полностью перерабатывать минеральное сырьё. Большая часть его возвращается в природу в виде отходов. Ежегодно в биосферу поступает более 30 млрд. т бытовых и промышленных отходов, изменяющих состав биосферы, круговорот и баланс слагающих её веществ.

4.1. Классификация природных ресурсов Земли

Природные ресурсы Земли - средства существования людей, находящиеся в природе. Природные ресурсы Земли делят на неисчерпаемые и исчерпаемые. Последние, в свою очередь, делят на возобновимые и невозобновимые (рис. 4.1) [31].

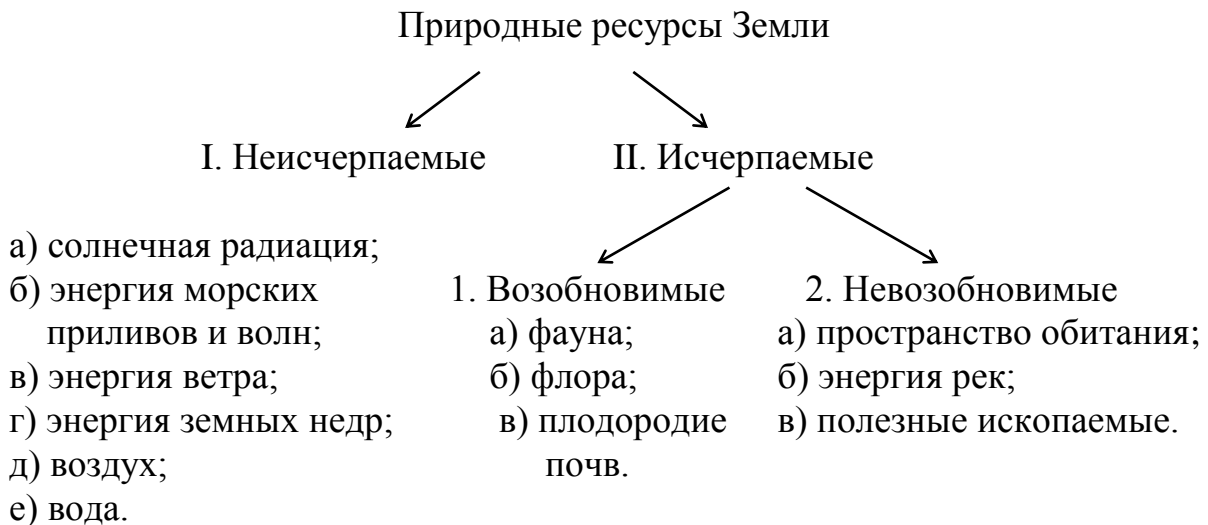


Рис. 4.1. Классификация природных ресурсов Земли

Приведенная схема является весьма условной, так как воздух и вода не могут быть безоговорочно отнесены к неисчерпаемым (только из-за огромных масс воды и воздуха). Под влиянием антропогенного фактора химический состав и физическое состояние атмосферы и гидросферы изменяются, теряется их биологическая ценность. Пресная вода, к тому же, составляет только 2 % от объёма всей гидросферы, т.е. 35 млн. км³, и расположена она неравномерно на Земле.

Проанализируем современное состояние природных ресурсов Земли. Практически обо всех неисчерпаемых ресурсах, являющихся источниками нетрадиционных методов получения энергии, речь пойдёт в главе 5. В связи с этим в этой главе внимание будет уделено возобновимым и невозобновимым исчерпаемым ресурсам.

4.2. Состояние исчерпаемых возобновимых ресурсов

Проблему состояния обрабатываемых земель мы достаточно обстоятельно обсудили в предыдущей главе, поэтому мы будем вести речь о ресурсах растительного и животного мира.

В настоящее время идентифицировано примерно 1,5 млн. видов растений и животных, из них две трети приходится на насекомых [27,44]. Учёные полагают, что эта цифра отражает лишь часть того огромного видового богатства, которое существует на Земле; не исключено, что число видов достигает 5 - 30 млн.

Анализ ископаемых остатков показал, что вид в среднем живёт менее 10 млн. лет и что из всех видов, когда-либо существовавших на Земле, 99 % исчезли или эволюционировали в новые виды. Массовое вымирание в далеком прошлом происходило в результате природных причин. С тех пор, как в биосфере появился человек, и, особенно, с появлением земледелия около 10000 лет назад, в результате антропогенной деятельности скорость исчезновения видов возросла в миллион раз (на уровне 1980 г.) и предполагается, что такая тенденция сохранится и в ближайшие десятилетия.

По приблизительным оценкам в период между 8000 г. до н.э. и 1975 г. н.э. средняя скорость исчезновения видов млекопитающих и птиц возросла в 1000 раз (рис. 4.2) [27]. Если включить сюда скорость исчезновения видов растений и насекомых, то скорость их вымирания в 1975 г. составляла до нескольких сотен видов в год (рис. 4.3). С тех пор скорость исчезновения видов увеличилась. В 1985 г. скорость вымирания возросла в 10 раз - до нескольких тысяч видов в год.

За период с 1975 по 2000 гг. в результате человеческой деятельности исчезнет не менее 500000, а возможно, и 1 млн. видов. К 2000 г. в результате антропогенной деятельности в среднем будет исчезать 20000 видов в год, т.е. 1 вид каждые 30 минут - 200 - кратное увеличение скорости вымирания всего за 25 лет. [27].

В известной нам литературе, в основном, присутствуют данные об исчезновении животных. Однако исчезновение растений с экологической точки зрения более важно, так как от растительной пищи прямо или косвенно зависит большинство видов животных. По оценкам, более 10 %

видов растений мира сегодня находятся под угрозой исчезновения. К 2000 г. исчезнет от 16 до 25 % всех видов растений.

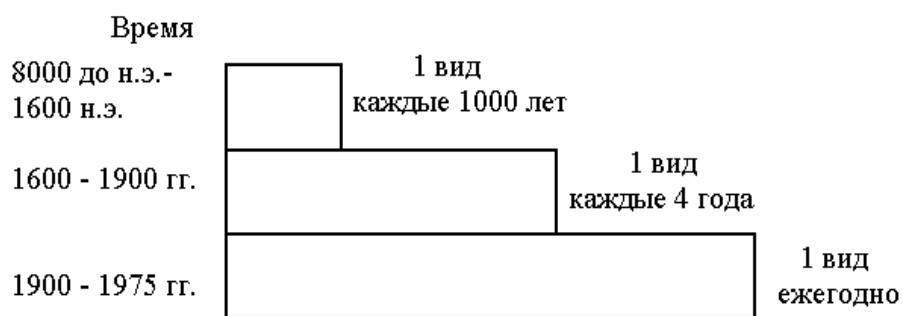


Рис. 4.2. Расчеты среднегодовой скорости вымирания млекопитающих и птиц в период между 8000 г. до н.э. и 1975 г. [27]

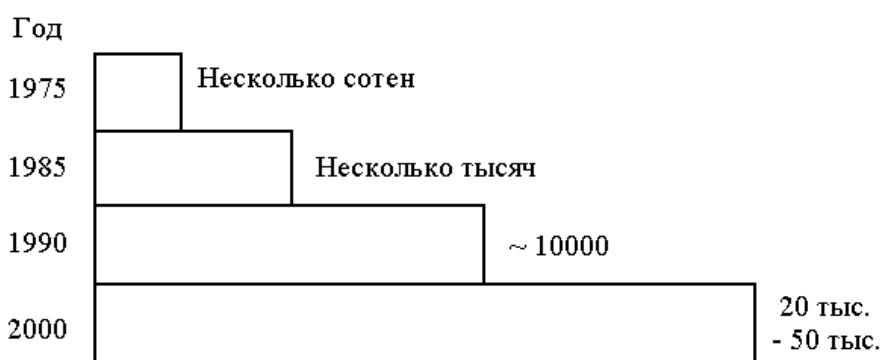


Рис. 4.3. Оценка годовой скорости вымирания всех видов в период между 1975 и 2000 гг

Необходимо отметить, что современный всплеск вымирания, вызванный антропогенной деятельностью, происходит всего несколько десятилетий по сравнению с миллионами лет в прошлом. Такое исчезновение не может быть компенсировано видообразованием, так как для развития нового вида необходимо от 2000 до 100000 поколений.

В [27] виды, которым грозит исчезновение, классифицируются как находящиеся в опасности или под угрозой вымирания.

У подвергающегося опасности вида остаётся так мало выживших особей, что вид может скоро исчезнуть полностью или на большей части своего ареала обитания. Примером могут служить белые носороги в Африке (осталось 100 особей), калифорнийский кондор в США (в диком состоянии не осталось ни одного), большая панда в Центральном Китае (осталось 1000 особей) и снежный барс в Центральной Азии (осталось 2500 особей).

Виды, находящиеся под угрозой вымирания, достаточно многочисленны в пределах своего ареала обитания, но их число уменьшается и им грозит опасность исчезновения. Это, например, африканский слон, белоголовый орлан, медведь гризли.

Многие дикие виды не подвергаются опасности исчезновения, но численность их популяций резко сокращается на локальном или региональном уровнях. Так, в России с 1988 по 1991 г. численность моржа

и морского котика снизилась вдвое, сивуча - в 5 раз. По данным [45] в Томской области в 1994 - 1995 гг. наблюдалось устойчивое снижение численности зайца-беляка в 2 раза, бобра - в 5 раз, северного оленя - в 3 раза, лося - на 34 %, причем у копытных в 1995 г. отмечена минимальная численность за последние 10 лет. Подобная негативная тенденция характерна и для соболя, численность которого в области сократилась за 5 лет с 31 до 19 тыс. особей.

Основными, связанными с деятельностью человека факторами, которые способны подвергнуть виды угрозе, опасности или исчезновению, являются:

1. Уничтожение или нарушение мест обитания. Строительство городов, сведение лесов, осушение болот, распашка лугов, разработка месторождений создают угрозу диким видам посредством нарушения путей миграции, районов размножения и источников пищи. Так, в Томской области в 1994-1995 гг. при общем снижении численности лосей на 34 % в районах действующих нефтяных месторождений наблюдалось уменьшение на 60 %. При этом исчезли многолетние места зимних стойбищ лосей в Привасюганье и по всей западной границе области, практически исчезли популяции северного оленя на левобережье Оби [45].

Многие редкие и находящиеся под угрозой вымирания виды имеют уязвимые особые места обитания, например, небольшие острова. Около 75 % видов млекопитающих и птиц, исчезнувших в недавнем прошлом, были обитателями островов. Сужение природных мест обитания в результате антропогенной деятельности приводит к невозможности обеспечения существования минимальному количеству особей, необходимому для поддержания популяции. Сужение мест обитания может обусловить узкородственное размножение, что вызывает генетическое ухудшение потомства, приводящее к вымиранию.

2. Промысловая охота. Распространённая по всему миру законная и незаконная промысловая охота представляет угрозу для многих видов крупных животных. На ягуаров, тигров, снежных барсов и гепардов охотятся ради их шкуры. На носорогов охотятся из-за рога, на слонов - из-за бивней. Промысловая охота сыграла главную роль в почти полном исчезновении американского бизона и снежной цапли.

3. Полное или почти полное исчезновение может происходить и в том случае, когда человек истребляет те виды вредителей и хищников, которые конкурируют с человеком в добыче пищи.

4. Ежегодно большое количество растений и животных, подвергающихся опасности или угрозе исчезновения, контрабандой вывозят в другие страны для продажи коллекционерам и для медицинских исследований. При ловле и перевозке животные и растения часто гибнут:

так, на каждого попавшего в лабораторию шимпанзе приходится шесть погибших при ловле и перевозке.

5. Загрязнение окружающей среды вызывает деградацию мест обитания животных, в том числе в заповедниках и убивает некоторые растения и животных. Численность диких животных всего мира может уменьшиться всего за несколько десятилетий из-за изменения климата, вызванного парниковым эффектом. Диким животным приполярных и полярных областей может быть также нанесён ущерб в результате значительного увеличения ультрафиолетового излучения, вызванного истощением озонового слоя.

6. Случайная или намеренная интродукция растений и животных в экосистемы. Некоторые чуждые виды не имеют естественных врагов и конкурентов в районах своих новых мест обитания. Они могут доминировать в новых экосистемах, уменьшая популяции многих местных видов, и со временем могут способствовать полному или почти полному исчезновению или вытеснению местных видов.

7. Рост населения, богатство и нищета являются одной из причин исчезновения видов и сокращения популяций: богатство - основной фактор, влияющий на увеличение среднего потребления ресурсов на душу населения; рост населения и нищета вынуждают бедняков вырубать леса и отлавливать подвергающиеся опасности исчезновения виды животных.

Для охраны подвергающихся опасности и угрозе вымирания диких видов и для предотвращения опасности, которой могут подвергнуться другие дикие виды, используются три основные стратегии:

1. Принятие соглашений, законов, создание заповедников, заказников, Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП), Международный совет по охране птиц и Международный фонд любителей диких животных установили подвергающиеся угрозе и опасности исчезновения виды и прилагают усилия по их охране. Например, МСОП составил список подвергающихся угрозе и опасности вымирания видов и опубликовал его в Красной книге. В 1978 г. была издана Красная книга СССР, а в 1985 г. - Красная книга РСФСР.

Охране диких животных способствует ряд международных договоров и конвенций. Одно из международных соглашений - Конвенция по охране мигрирующих видов диких животных 1979 г. - в настоящее время подписано 23 странами. Одним из самых широкомасштабных соглашений стала Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой уничтожения, 1975 г. (CITES), разработанная МСОП и контролируемая Программой ООН по окружающей среде. К 1988 г. Конвенцию подписали 96 стран. Список видов, живыми особями или изделиями из которых запрещено торговать, содержит в настоящее

время 675 наименований. Торговля другими 27000 видов возможна только при определенных условиях и по специальным разрешениям. Это соглашение позволило уменьшить масштабы незаконной торговли некоторыми подвергающимися опасности исчезновения дикими видами, особенно крокодилами, черепахами и некоторыми крупными видами семейства кошачьих, чья шкура ценится из-за меха.

Важную роль в сохранении и увеличении численности фауны и флоры играют заповедники и заказники. В Российской Федерации насчитывается около 80 заповедников, в том числе 16 биосферных, общей площадью более 20 млн. га, или около 1,2 % территории страны. Это, к сожалению, меньше, чем в других регионах мира [22].

В ряде заповедников имеются питомники, в которых сохраняется ценнейший генофонд, содержатся, изучаются и разводятся редкие виды животных. Так, в Окском заповеднике расположены питомники зубров, журавлей и хищных птиц.

Заказники представляют собой природные комплексы, предназначенные для сохранения, воспроизводства и восстановления природных ресурсов. В России создано более 1500 заказников, из них 1064 - зоологические, 183 - ботанические. В Томской области на март 1996 г. существуют 16 природных заказников, в том числе 13 - зоологические и 1 биологический. Так, «Осетрово-нельмовый» заказник регионального значения организован в целях восстановления запасов ценных видов рыб: осетр, нельма и стерлядь в бассейне р. Обь [45].

2. Использование генных банков, зоопарков, исследовательских центров, ботанических садов и аквариумов для сохранения небольшого количества особей диких животных.

Ботаники сохраняют генетическую информацию и подвергающиеся опасности исчезновения растительные виды путем хранения их семян в генных банках - охлажденных средах с низкой влажностью. В мире сегодня существуют генные банки наиболее известных и многих потенциальных видов сельскохозяйственных культур и других растений.

Ботанические сады во всем мире также помогают сохранять определенное генетическое разнообразие, имеющееся в природе. Однако у садов слишком небольшая площадь и слишком мало денег, чтобы сохранить все подвергающиеся опасности исчезновения растения мира.

Зоопарки и центры исследования животных приобретают всё большее значение для сохранения репрезентативного числа видов животных и птиц, подвергающихся опасности исчезновения. Из-за дефицита площадей и средств зоопарки мира в настоящее время содержат только 20 подвергающихся опасности исчезновения видов популяциями в 100 и более особей. Это минимальное количество особей, позволяющее

популяции выжить в результате несчастных случаев, болезней или потери генетического разнообразия из-за узкородственного размножения.

3. Охрана и защита разнообразия уникальных и типичных экосистем во всем мире.

По мнению специалистов лучшим способом предотвращения потерь диких видов является учреждение и поддержание всемирной системы резерватов, парков и других охраняемых территорий. Эта система должна включать в себя по меньшей мере 10 % всей суши мира. Основная цель такой системы - охрана и регулирование экосистемы в целом, а не конкретных видов, как это практикуется в настоящее время при видовом подходе к охране диких животных.

Экосистемный подход способен предотвратить опасность, которой могут подвергаться многие виды в результате антропогенной деятельности. Кроме того, это дешевле, чем регулировать подвергающиеся опасности исчезновения отдельные виды. Резерваты станут местами обитания видов животных, находящихся в настоящее время в зоопарках и прочих неестественных условиях обитания. Резерваты можно также использовать для исследования диких животных и для образовательных целей.

К 1988 г. в мире насчитывалось более 3600 основных охраняемых территорий, занимающих почти 4,4 млн. квадратных километров (3,2 % всей территории суши).

К таким территориям относятся биосферные заповедники и национальные парки, ландшафтные заказники, природные парки и санитарно-курортные зоны, охраняемые ландшафты и отдельные природные объекты.

4.3. Состояние исчерпаемых невозобновимых ресурсов

Исчерпаемость невозобновимых ресурсов определяется их резервами в природе и интенсивностью использования человеческим обществом.

В соответствии с данными ООН население Земли в декабре 1996 г. составило более 5,8 млрд., увеличиваясь ежегодно примерно на 90 млн. человек. Демографы считают, что численность к 2110 г. достигнет 10,5 млрд. чел. При этом средняя плотность населения планеты составит 70 человек на 1 км² суши.

Плотность населения на планете весьма неравномерна - в европейских странах она выше, чем в других и составляет в среднем 95 чел./км². В России плотность населения - 8 чел./км², причем 4/5 населения сосредоточено в Европейской части. В Молдове плотность населения составляет 120 чел./км², в Грузии - 74 чел./км², в Азии - 55 чел./км², в Индии -

130 чел./км², в Китае - 110 чел./км², в Африке - 14 чел./км², в Северной Америке - 14 чел./км², в Южной Америке - 13 чел./км², в Австралии и Океании - 3 чел./км², в Нидерландах и Японии - 300 чел./км².

В обозримом будущем возникновения проблемы исчерпаемости пространства обитания не ожидается. Оптимизация использования суши может осуществляться за счёт освоения необжитых и малообжитых регионов с искусственным улучшением на них условий жизни человека.

Исчерпаемость энергетических ресурсов рек определяется рентабельностью сооружения и эксплуатации гидроэнергетических устройств на реках, каналах и водохранилищах. Каскад ГЭС, возведенных на Ангаре, Волге и других крупных реках, существенно замедляет скорость течения воды. Например, до строительства ГЭС на Волге вода «добегала» от Рыбинска до Волгограда за 1,5 месяца, сейчас - за 1,5 года [24].

Ресурсы полезных ископаемых возобновимы в процессе эволюции литосферы, однако время их возобновления, измеряемое сотнями тысяч и миллионами лет, несопоставимо со временем разработки месторождений и расходом минеральных богатств. Интенсивная разработка месторождений приведёт к прогрессирующему истощению земных недр.

Содержание главных химических элементов в верхнем слое земной коры показывает, что только 9 элементов составляют 99 % всей её массы [46]:

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
Кислород	45,2	Магний	2,8
Кремний	27,2	Натрий	2,3
Алюминий	8,0	Калий	1,7
Железо	5,8	Титан	0,9
Кальций	5,1	Другие	1,0

Остальные известные элементы представлены в малых и очень малых количествах.

Потребление многих минеральных ресурсов растёт по экспоненциальному закону. На рис. 4.4 показано мировое потребление на душу населения трёх важных минеральных продуктов: цинка, алюминия, хромита (хромит - источник металлического хрома в стальных сплавах, используется также в качестве термоизолятора печей и в производстве химических продуктов). Представленные данные позволяют убедиться, что мы действительно имеем дело с экспоненциальным темпом роста, а не с кратковременными флуктуациями.

В настоящее время имеются довольно разноречивые данные о мировых запасах полезных ископаемых, называются различные сроки «обеспеченности» ими человечества [6, 31, 46]. Но приводимые

результаты не внушают чрезмерного оптимизма, особенно по запасам цветных металлов. Запасы меди, свинца, цинка, олова, по прогнозам иссякнут в следующем столетии, то же самое ожидает драгоценные металлы, а также кобальт, вольфрам, молибден, марганец, а до 2500 г. будут израсходованы запасы всех металлов.

Кг

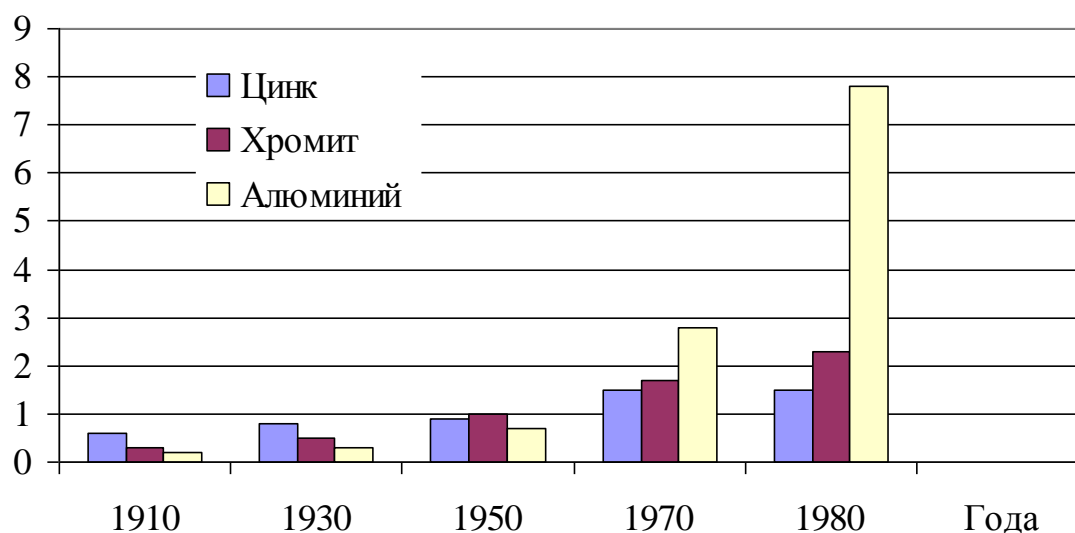


Рис. 4.4. Мировое потребление на душу населения трех минеральных продуктов [46]

По оценкам, приведённым в [22], в России стоимость разведанных и предварительно оцененных запасов минерального сырья на 1994 г. составляет 28 трлн. долларов, что эквивалентно по стоимости 2 млн. т золота или валовому национальному продукту страны за 20 лет. Доля России в мировой добыче угля, нефти и газа составляет от 10 до 30 %, по металлам - 10 - 15 %.

С распадом СССР месторождения марганца, свинца, хрома, сурьмы, титана и ртути оказались на территориях бывших союзных республик, у которых Россия вынуждена закупать их на сумму 2 млрд. долл. в год.

Разведанных запасов нефти России хватит на 35 лет. Золота, добываемого на россыпных месторождениях (70 % всей добычи), хватит на 3-5 лет. В Якутии в ближайшее время будут исчерпаны запасы алмазов, добываемых открытым способом.

С 1992 г. прирост разведанных запасов полезных ископаемых не покрывает их добычи. В то же время экспорт сырья в 1993 г. по сравнению с экспортом в 1992 г. возрос на 20,9 %. Это следует расценивать как результат «предпринимательской» деятельности государственных и

частных структур - от природы взять всё, что можно, чтобы выжить сегодня. Между тем, ресурсонасыщенность России, которая измеряется количеством потребляемых ресурсов на душу населения, в 1,5 - 3 раза ниже, чем в промышленно развитых странах.

Ожидается, что к 2000 г. будет исчерпана сырьевая база на 40 % добывающих предприятий, и Россия из экспортёра минерального сырья может превратиться в его импортёра.

4.4. Пути решения проблемы ресурсов полезных ископаемых

Проблема истощения минеральных ресурсов на нашей планете является весьма актуальной. В связи с этим приобретают особую важность задачи увеличения запасов полезных ископаемых путём изыскания месторождений на новых территориях, в частности, использование вод и шельфов Мирового океана, горных пород континентальной коры; охрана и рациональное использование недр; развитие малоотходного производства с использованием вторичных материальных ресурсов.

4.4.1. Использование вод и шельфов Мирового океана, горных пород континентальной коры

Вода сама по себе является главным богатством гидросферы, но кроме неё в этой оболочке Земли есть ещё много других не менее важных ресурсов. Океаны, которые покрывают 70,8 % земной поверхности и имеют среднюю глубину 3,96 км, представляют собой резервуар для многих растворимых веществ, вынесенных из горных пород и почв континентов, а также содержащихся в газах подводных вулканов. Солёность морской воды составляет 3,5 %. Натрий и хлор, образующие обычную соль, являются самыми распространёнными; вместе с магнием, серой, кальцием и калием они составляют 99,5 % всех растворённых веществ[46]:

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
Хлор	55,07	Бром	0,19
Натрий	30,62	Углерод	0,08
Магний	3,68	Стронций	0,02
Сера	2,73	Бор	0,01
Кальций	1,18	Калий	1,10

Каждый кубический километр морской воды содержит значительные количества ещё 64 элементов, например, в одном таком кубе содержится в среднем по 2000 кг цинка и меди, 800 кг олова, 280 кг

серебра и 11 кг золота. Вся масса золота, содержащегося в водах Мирового океана, составляет 10 млрд. т - в несколько раз больше исчисляемых запасов всех цветных металлов на континентах; урана в морских и океанических водах содержится около 4 млрд. т [31].

Несмотря на то, что в морской воде содержатся все элементы, из которых состоят горные породы, только четыре из них могут добываться с экономической выгодой в значительных количествах: это натрий и хлор (извлекаемые в виде поваренной соли), магний и бром. В настоящее время из морской воды получают треть мирового производства соли, 61 % металлического магния, 70 % брома.

Полезные ископаемые мирового океана могут также располагаться в прибрежных россыпях, на морском дне и в морских недрах. Особое значение сейчас приобретают запасы полезных ископаемых, расположенные на шельфе - мелководной платформе или террасе, окаймляющей континенты и занимающей 7,5 % водной поверхности Мирового океана. На шельфе скапливается огромная масса осадочных пород и происходит концентрация различных полезных ископаемых. Начиная с 60-х годов нашего столетия, началось интенсивное изучение и освоение минеральных богатств шельфа. На шельфе открыто и эксплуатируется значительное количество месторождений нефти и газа; ведутся разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых - магнетитовых и титаномагнетитовых песков, россыпного золота и платины, редкоземельных элементов, меди, серы, марганца, олова, никеля, кобальта, фосфоритов, алмазов и др. В Японии подводная разработка угольных месторождений обеспечивает более 20 % всей добычи угля, в Англии - 10 %.

На больших глубинах огромные территории дна Тихого, Индийского и Атлантического океанов покрыты железомарганцевыми конкрециями (рудными скоплениями), общая их масса ориентировочно только в Тихом океане определена в 1500 млрд. т; прогнозные запасы меди, никеля и кобальта составляют 20-25 млрд. т. Разведанные скопления конкреций содержат в 20 раз больше кобальта, в 90 - никеля и в 42 раза - марганца, чем во всех известных месторождениях континентов. Японские исследователи утверждают, что уже к началу XXI столетия добыча конкреций может удовлетворить потребности в кобальте на 50, а в марганце на 18 %, а также то, что за счёт конкреций морских месторождений человечество может удовлетворить свои потребности в меди на 3, никеля на 70, марганца на 140, кобальта на 420 тыс. лет [31].

В глубоководных зонах на дне океанов залегают диатомовые и глобигериновые илы и красная глина; первые содержат огромные количества кальция и кремнезёма, красная глина на 25 % состоит из оксида алюминия. На дне Красного моря в глубоких разломах обнаружены

скопления ила, богатого серебром, цинком, медью и др. металлами; в Судане и Саудовской Аравии, у берегов которых на глубине до 2000 м открыто 18 таких месторождений.

Потенциальные ресурсы морей и океанов огромны, но не могут интенсивно использоваться пока не будут найдены специфические реакции, позволяющие выделять только определенный элемент или группу элементов. В противном случае технологический процесс будет дорогостоящим из-за его высокой энергоёмкости и нецелесообразным, если не смогут рационально использоваться те большие объёмы попутных материалов, которые получатся в результате. Кроме того, низкие концентрации большинства элементов в морской воде делают задачу их извлечения слишком трудной из-за необходимости перерабатывать большое количество воды.

В табл. 4.1. приведены данные о содержании некоторых химических элементов в континентальной коре и в морской воде. Континентальная кора - твёрдая оболочка Земли, выступающая над уровнем океана [46].

Таблица 4.1

Содержание некоторых химических элементов в 1 км³ средней континентальной коры и в средней морской воде (в тоннах)

Элемент	В средней континентальной коре	В средней морской воде
Натрий	69000000	11020000
Калий	51000000	396000
Хлор	5700000	19800000
Марганец	1809000	1,9
Цинк	170000	2,0
Хром	130000	0,2
Бром	120000	68000
Никель	100000	2,0
Медь	86000	2,0
Кобальт	32000	0,05
Уран	7800	3,3
Олово	5700	0,8
Серебро	160	0,3
Золото	5	0,01

Практически все элементы более широко распространены в континентальной коре. Данные таблицы позволяют предполагать, что если когда-нибудь мы действительно исчерпаем месторождения суши и должны будем перейти на ресурсы либо в обычных горных породах, либо

в морской воде, то выбор, вероятно, будет сделан в пользу извлечения элементов из горных пород суши.

4.4.2. Охрана и рациональное использование недр

Можно выделить следующие направления охраны и рационального использования недр:

1. Комплексное использование природных ресурсов. Под комплексным использованием природных ресурсов понимается добыча не только основных, но и сопутствующих полезных ископаемых, а также переработка отходов горного производства. Возможность такого использования природных ресурсов закладывается на этапе геологических изысканий и проектирования предприятий горнодобывающих отраслей промышленности [22].

Практически все месторождения твёрдых полезных ископаемых являются комплексными: они содержат, как правило, несколько различных минералов и химических элементов, одни из которых считаются основными, другие - попутными (сопутствующими или совместно залегающими) полезными ископаемыми.

В угольной промышленности наряду с добычей угля комплексно должны использоваться все сопутствующие минеральные ресурсы недр: шахтные породы, вода, метан.

В связи с недостаточной проработанностью применяемой технологии на некоторых месторождениях в железорудной промышленности теряются медь, кобальт, свинец, цинк, золото и сера.

Руды цветных металлов, как правило, содержат несколько процентов, а иногда и доли процентов основного металла. Поэтому в цветной металлургии приходится извлекать из недр намного больше горной массы на единицу продукции, чем в чёрной металлургии, что вызывает увеличение объёма работ по добыче и обогащению руд. В то же время руды цветных и редких металлов имеют сложный состав, причём многие спутники по ценности значительно превосходят основные компоненты.

Комплексное использование сырья даёт возможность получать около 40 элементов в виде металлов высокой чистоты и химических соединений и организовать промышленное производство многих необходимых видов продукции. По комплексности использования сырья отечественная цветная металлургия находится на уровне наиболее технически развитых стран. Например, медная промышленность наряду с медью извлекает попутно 13 ценных компонентов и на их основе производит дополнительно более 20 видов продукции; свинцово-цинковая

- 18 компонентов; из медно-никелевых руд кроме никеля, меди и кобальта извлекают металлы платиновой группы, золото, серебро, серу, селен и теллур.

Но комплексное использование всё же пока недостаточно - при переработке теряется 15 % меди, 50 % цинка, 45 % свинца и 14 % благородных металлов.

2. Исключение потерь минерального сырья при добыче, переработке и транспортировке. Добыча и переработка полезных ископаемых связаны со значительными потерями минерального сырья. Меньшие потери бывают при открытом способе разработки месторождений: 10 % составляют потери угля; 3-5 % - вольфрамо-молибденовых руд; 3,0 - 3,5 % - медных руд; 5-7 % свинцово-цинковых руд. При подземной разработке месторождений потери более значительны: потери угля составляют 30-40 %; вольфрамо-молибденовых руд - 10-12 %; медных руд - 10-13 %; свинцово-цинковых - 12-16 % [11].

Потери нефти в отдельных случаях составляют 70-80 % разведанных запасов. В газовых факелах порой годами сжигаются миллиарды кубометров попутного нефтяного газа.

Велики потери при перевозке минерального сырья. Так, при транспортировке угля от Новокузнецка до Магнитогорска потери в среднем достигают 1,2 т на каждый полувагон за счёт «выдувания» угольной пыли. Между тем, устранение подобных потерь возможно за счёт устройства на пунктах отправки продукции установок для поливки угля водомазутными эмульсиями, образующими устойчивую защитную плёнку. Для этих целей может использоваться не только мазут, но и другие продукты нефтепереработки, да и просто вода, даже загрязнённая шлаками.

Одним из путей решения проблемы снижения запасов полезных ископаемых, а также уменьшения загрязнения окружающей среды является снижение разубоживания полезных ископаемых, т.е. их обеднения в результате смешивания с породами при добыче и транспортировке. Вследствие разубоживания руд в последующие процессы переработки и складирования хвостов обогащения вовлекаются на 20-25 % больше горной массы, чем это могло бы быть при «чистой» выемке. Помимо экономического ущерба это наносит существенный урон окружающей среде, поскольку требуется выделение более значительных площадей для размещения хвостохранилищ.

Ещё один путь решения обсуждаемой проблемы - создание прогрессивных технологий в области обогащения сырья, что позволяет использовать для переработки сырьё худшего качества. Так, в начале XX века промышленными считались руды, содержащие 5-6 % меди, а сейчас - 0,5 - 0,6 %.

Глубина переработки нефти (отбор светлых нефтепродуктов) в нашей стране на 30 % ниже, чем в США. А светлые нефтепродукты - это дизельное топливо, бензин, сырьё для химии. Остальное уходит в мазут, гудрон, асфальт. Повышение глубины переработки нефти позволило бы сократить добычу её на миллионы тонн.

3. Использование современных методов геологического изучения недр для выявления и оценки месторождений полезных ископаемых, исследования закономерностей их формирования и размещения, выяснения условий разработки месторождений.

Использование геофизических, аэрокосмических методов, современных способов бурения позволяет создавать карты всё более глубоких горизонтов земной коры. Эффективность исследований позволяет повысить современная вычислительная техника, с помощью которой ведётся обработка полученной информации.

4. Охрана месторождений от обводнения. Осуществляя геологическое изучение территорий, геологи обязаны обращать внимание на площади, намечаемые к затоплению водохранилищами или отводу под сооружения. Необходимо давать заключение о перспективности таких территорий на различные виды минерального сырья. Игнорирование этого приводит к ситуациям, подобным той, которая произошла на Иркутской ГЭС, когда создание водохранилища привело к потере крупного месторождения свинцово-цинковых руд.

4.4.3. Использование вторичных ресурсов

В результате хозяйственной деятельности образуются отходы, являющиеся потенциальным сырьём. В зависимости от источника образования их делят на две группы: отходы производства и отходы потребления [50,51].

В результате деятельности человека образуется несколько сотен видов отходов, а традиционно используется несколько видов, среди которых металлы, пластмассы, бумага, стекло. Вторичное использование материалов решает целый комплекс вопросов по защите окружающей среды: сокращается потребность в первичном сырье, уменьшается загрязнение вод и земли, сокращаются энергетические и другие затраты на переработку сырья, что оказывается и экономически выгодным. Истощение запасов первичного сырья потребовало перевода технологий многих стран на использование вторичного сырья, а также создания безотходных и малоотходных производств, основой которых является рациональное использование всех компонентов сырья в замкнутом цикле

(первичные сырьевые ресурсы - производство - потребление - вторичные сырьевые ресурсы).

Экономическая и экологическая целесообразность использования отходов доказана практической работой многих предприятий в разных странах.

Использование макулатуры позволяет при производстве тонны бумаги и картона экономить 4,5 м³ древесины, 200 м³ воды и в 2 раза снизить затраты электроэнергии. К тому же в 2-3 раза снижается себестоимость продукции. Для изготовления того же количества бумаги требуется 15-16 взрослых деревьев.

Сталь из металлолома на 70 % дешевле получаемой из руд. При этом экономится на каждой тонне стали 1,5 т руды и 0,2 т кокса. При переплавке 1 т металлолома (вместо обычного сырья) на 86 % уменьшается загрязнение атмосферы, на 76 % - воды, на 97 % сокращается объём отходов.

Большую экономическую выгоду даёт использование отходов цветных металлов, так, для получения 1 т меди из руды необходимо добыть из недр и переработать 700-800 т рудоносных пород [51]. На получение 1 т алюминия из натурального сырья приходится затрачивать 18-20 тыс. кВт/ч электроэнергии, а на получение алюминия из использованных алюминиевых банок необходимо затратить лишь 5 % от указанного выше количества электроэнергии.

Степень утилизации алюминиевых жестяных банок различна в промышленно развитых странах: в Великобритании она составляет 3,5 %, в странах Западной Европы - 13 %, а в США - 55 %. Кроме того, при предварительной обработке банок собирается значительное количество олова [50].

Тонна бытового и промышленного стеклобоя высвобождает 1,25 т сырья, в том числе около 250 кг дефицитной кальцинированной соды.

Стеклянные банки утилизируются двумя путями: повторным использованием, либо отправлением на переплавку на заводы по производству стеклянной тары, основная масса стеклянной тары используется однократно, после чего её направляют на переплавку. Швейцария, Нидерланды, Австрия и Бельгия утилизировали более половины использованной стеклянной тары. В Швейцарии в настоящее время изготавливаются бутылки и банки с использованием утилизированного стекла для 75 % продукции. При этом зеленые бутылки почти полностью изготавливаются из стеклянного боя.

Пластмассы в виде отходов естественным путём разлагаются очень медленно, либо вообще не разлагаются. При их сжигании атмосфера загрязняется ядовитыми веществами.

В настоящее время в мире утилизируется лишь небольшая часть из ежегодно выпускаемых 80 млн. т пластмасс. Между тем, из 1 т отходов полиэтилена получается 860 кг новых изделий. Тонна использованных полимеров экономит 5 т нефти.

Наиболее эффективными способами предотвращения накопления пластмассовых отходов является их вторичная переработка (рециклинг) и разработка биodeградальных быстроразрушающихся в природе полимерных материалов.

Рециклинг пластмассовых отходов осуществляется в США, Японии и 16 промышленно развитых странах Европы. По оценке Управления по охране окружающей среды общее количество отходов пластмасс к 1992 г. в США достигло более 23 млн.т. По прогнозу к 2000 г. масса полимерных отходов возрастёт на 50 %. Согласно данным компании «Бизнес комьюникейшн» количество рециклируемых пластмасс в США возросло со 103,4 тыс. т в 1989 г. до 406 тыс. т в 1994 г. В целом предполагается, что к 2000 г, рециклинг пластмасс в США составит 50-60 %. В Японии ещё в 1988г. при общем объёме полимерного производства 11 млн. т объём продукции по вторичной переработке достиг 4,87 млн. т. В странах ЕС по данным английской фирмы «Фрост Салливан» количество отработанной пластмассы, включенной в рециклинг, увеличится с 914 тыс. т в 1991 г. до 2,4 млн. т к 1996 г. Наибольшее количество рециклированной пластмассы среди стран ЕС приходится на Германию: в настоящее время объём пластмассовых отходов в Германии составляет около 2,5 млн. т, из которого 500 тыс. т подвергается рециклингу. Количество образующихся отходов пластмасс в Великобритании оценивается в 1260 тыс. т в год. Ежегодно из отходов регенерируется и возвращается в цикл 150 тыс. т пластмасс [50].

К сожалению, в России данные по объёму образования отходов производства и потребления, а также их использования не могут рассматриваться как вполне достоверные, так как государственная статистическая отчётность практически отсутствует. Согласно [22] около 7 млрд. т отходов, при этом вторично используются только 2 млрд. т, т.е. около 28 %.

Рассмотрение различных аспектов проблемы сырьевых ресурсов не внушает большого оптимизма, но и не даёт основания для безысходности, поскольку человечество уже имеет на вооружении достаточно много достижений направленных на разрешение минерально-сырьевого кризиса и, будем надеяться, не остановится на достигнутом.

Глава 5. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Для всех народов земли одна из наиболее актуальных задач – решительное пресечение природоразрушающих форм любого вида деятельности, замена их экологизированными.

Обсуждение проблем энергетики и связанного с этим загрязнения окружающей среды (ОС), борьба мнений вокруг их социальных и экономических аспектов имеют место практически во всех государствах мира. Прошедшая в 1992г. в Рио-де-Жанейро Конференция ООН по окружающей среде и развитию в качестве основы стратегии мирового развития приняла концепцию устойчивого развития, которое возможно только при устойчивом энергоснабжении.

Давление на энергетику, особенно ядерную, усилилось после аварии на Чернобыльской АЭС.

Озабоченность всех здравомыслящих людей проблемами энергетики настоящего и будущего естественны, поскольку энергия обеспечивает развитие цивилизации, да и просто жизнь каждого человека. Но "... не существуют простые способы выбора источника энергии... Все они требуют компромиссных решений. Однако имеются решения и компромиссы, которые представляются несомненно лучшими, они обеспечивают больший прогресс в развитии и меньший ущерб для ОС" [28].

В этой главе мы попытаемся, используя фактический материал, проследить воздействие известных способов получения энергии на ОС.

Теоретически все источники энергии: невозобновляемые (уголь, ядерное топливо и др.) и возобновляемые (энергия Солнца, приливов, волн, ветра и др.) - смогут способствовать в будущем созданию смешанной глобальной системы энергетических ресурсов. Но каждый источник характеризуется присущими ему факторами: экологическими, экономическими, выгодой, риском. Выбор данной энергетической стратегии неизбежно означает и выбор определенной экологической стратегии. [28].

Рост спроса на энергию привел к крайне неравномерному глобальному распределению потребления первичной энергии [28]. Например, потребление энергии на душу населения в индустриальных странах более чем в 80 раз превышает потребление в странах Центральной Африки. Пятерка стран - лидеров по этому показателю (1985 г., кВт. ч): Норвегия - 24777, Канада - 16522, Швеция - 16165, США - 10781, СССР - 5445. Примерно четвертая часть мирового населения потребляет 75 % энергии и потребление неуклонно растет, из чего следует, что экологические проблемы энергетики имеют существенный геополитический аспект.



Рис. 5.1. Основные факторы воздействия энергетики на ОС

Основные факторы воздействия энергетики на ОС схематично представлены на рис. 5.1 [29].

5.1. Тепловые электростанции

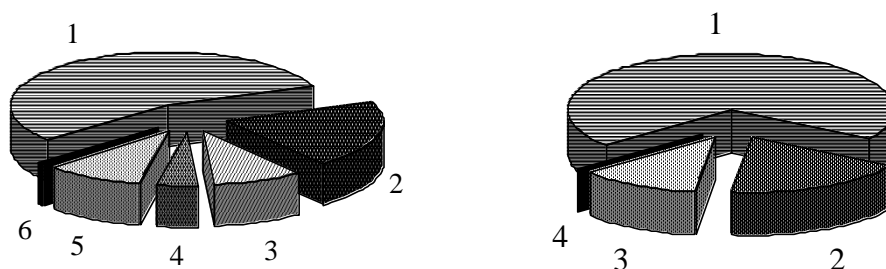
В настоящее время основная часть энергии во многих странах вырабатывается при сжигании органического топлива. Роль различных источников в производстве электроэнергии в США и СНГ приведены на диаграммах (рис. 5.2.) [30].

В числе первых факторов воздействия ТЭС на окружающую среду можно назвать потребление природных ресурсов, прогнозные запасы которых составляют согласно [31]:

1. Уголь - 11240 млрд. т.
2. Нефть - 743 млрд. т.
3. Газ - 229 млрд. т.

Как видим, уголь является наиболее конкурентноспособным среди других органических энергоресурсов. Специалисты считают, что запасов его, доступных для разработки, сегодня впятеро больше, чем сожжено всеми цивилизациями до наших дней. Однако в 1955-72 годах доля нефти в удовлетворении энергетических потребностей стран Западной Европы и США увеличилась с 10 до 60 %, доля угля сократилась с 75 до 20 %. Правда, после того, как в 1973 г. в мире разразился нефтяной кризис, США

стали резервировать основные запасы нефти на территории своей страны и выплачивать владельцам этих земель компенсацию за неразработку месторождений. В СНГ добыча нефти и газа составляет более 70 % добычи природных видов топлива и только 25 % приходится на долю угля, хотя прогнозные его запасы в 20-30 раз превышают запасы нефти и в 30-50 раз - природного газа.



- | | |
|------------------------|-------------------|
| а | б |
| 1. ТЭС на угле 55%; | 1. ТЭС 70%; |
| 2. АЭС 20,6 %; | 2. ГЭС 17,97 %; |
| 3. ТЭС на газе 9,4 %; | 3. АЭС 12 %; |
| 4. ТЭС на нефти 4,2 %; | 4. Прочие 0,03 %; |
| 5. ГЭС 10 %; | |
| 6. Прочие 0,8 %. | |

Рис. 5.2. Роль различных источников в производстве электроэнергии: а) в США; б) в СНГ

Кроме того, нефть, газ, да и уголь являются ценным сырьем для других отраслей промышленности, например, химической. Еще Д.И. Менделеев приравнивал использование нефти как топлива к сжиганию денежных знаков.

При сжигании твердого, жидкого и газообразного топлив на ТЭС вся их масса превращается в отходы, причем продукты сгорания в несколько раз превышают массу использованного топлива за счет включения кислорода и азота воздуха (в 5 раз - при сжигании газа и в 4 раза - при сжигании угля).

Все топливосжигающие установки ежегодно выбрасывают в атмосферу Земли более 200 млн. т окиси углерода, 50 млн. т различных углеводородов, почти 150 млн. т двуокиси серы, свыше 50 млн. т окислов азота, 250 млн. т мелкодисперсных аэрозолей. В общем загрязнении атмосферы отходами производства теплоэнергетические выбросы вредных веществ составляют по пыли 20-35 %, диоксиду серы - до 50 %, по окислам азота - 30 - 35 %. [32].

Можно выделить следующие виды загрязнения окружающей среды объектами теплоэнергетики:

1. *Выбросы в атмосферу в виде пыли, окислов серы, азота, углерода.*

Пыль или летучая зола содержит алюмосиликаты, сульфаты кальция, щелочных металлов, магния, железа, некоторые микроэлементы, двуокись кремния, количество которых в золе колеблется от 10 до 82 %. Ее биологическая активность при попадании в дыхательные пути и легкие зависит от дисперсного состава частичек пыли. Частицы с размерами более 12 мкм практически полностью задерживаются при дыхании в верхних дыхательных путях и плохо удаляются из организма. Более мелкие частицы проникают в нижние дыхательные пути и частично задерживаются там.

Выбросы углекислого газа способствуют возникновению "парникового" эффекта, который в перспективе может привести к изменению климата на планете.

Окислы серы и азота являются причиной кислотных осадков. Окислы азота к тому же являются одним из разрушителей озонового слоя, поглощающего жесткое ультрафиолетовое космическое излучение. Одна т окислов азота способна разрушить до 1 тыс. т озона.

При сжигании топлива образуются продукты неполного сгорания: окись углерода, сажа, смолистые вещества, содержащие полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в частности, относящиеся к классу чрезвычайно опасных - бенз(а)пирен, являющийся канцерогенным веществом.

2. *Твердые нелетучие отходы (зола, шлак).*

Удаление золошлаковых отходов связано с отторжением территорий. Если сама ТЭС средней мощности занимает 200-300 га, то площадь золоотвала через 10 лет эксплуатации ТЭС достигает 800-1500 га. ТЭС средней мощности, работающая на экибастузских углях, сжигает до 2500 т топлива в час, при этом образуется до 1000 т золы. Содержание ряда токсичных микроэлементов в золе ТЭС значительно превышает их среднее содержание в земной коре - например, мышьяка - в 100 раз, бериллия - в 60 раз [33]. В ряде случаев поступление в окружающую среду металлов за счет сжигания ископаемого топлива значительно превосходит их производство, например, мировое производство урана в 1971 г. составило 30 тыс. т, а поступление за счет сжигания каменного и бурых углей - 204 тыс. т [32]. Вследствие этого ТЭС (особенно на угле) являются серьезным источником внешнего и внутреннего облучения: например, вблизи ТЭС мощностью 1000 МВт (электрическая) годовые дозы облучения составляют 6 - 60 мкЗв [30] (предел дозы - 5000 мкЗв/год).

3. Сброс отработанной воды, содержащей нефтепродукты, взвеси, растворимые соединения металлов и др.

Более 85 % поступающей на ТЭС воды используется для охлаждения конденсаторов турбин. Вода нагревается в конденсаторах на 8 - 10°С и возвращается в водоем практически без изменения химического состава, исключая уменьшение содержания кислорода.

К сточным водам относятся воды после охлаждения различных аппаратов, сбросные воды из систем гидрозолоудаления, водоподготовительных установок, стоки после обмывок и химических промывок теплосилового оборудования. Эти сточные воды содержат мышьяк, ванадий, минеральные и органические кислоты, соли кальция, магния и натрия, а также загрязнены нефтепродуктами.

4. Тепловое загрязнение

Низкопотенциальные тепловые выбросы возрастают почти пропорционально росту производства электроэнергии. Величина тепловых выбросов, которая может представлять опасность для планеты, оценивается в 1 - 5 % от количества солнечной энергии, воспринимаемой поверхностью Земли. Если учесть, что в настоящее время по данным разных авторов, суммарное антропогенное выделение низкопотенциального тепла составляет 0,006 - 0,02 % солнечной радиации, а темпы прироста производства энергии в год составляют в среднем 3,5 %, то минимальное значение опасной величины тепловых выбросов, равных 1 % может быть достигнуто за пределами XXI в. [32].

5. Воздействие электромагнитных полей (ЭМП) линий электропередачи (ЛЭП).

Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у человека нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечной деятельности и системы кровообращения. При этом наблюдается повышенная утомляемость, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце.

В результате развития электроэнергетики и систем связи суммарная напряженность антропогенных ЭМП в различных точках земной поверхности увеличилась по сравнению с естественным фоном на 2 - 5 порядков. Особенно резко она возросла вблизи энергетических и энергоемких установок. В масштабах эволюционного процесса этот рост напряженности ЭМП может рассматриваться как одномоментный скачок с неясными пока биологическими последствиями. [34].

6. Шумовое загрязнение.

Рост единичной мощности основного и вспомогательного энергетического оборудования, как правило, сопровождается увеличением звуковой мощности агрегатов, проблема снижения уровня шума особенно

актуальна на крупных ТЭЦ, которые находятся в черте города. Справедливости ради надо отметить, что шум в условиях ТЭС оказывает основное влияние на людей, находящихся в рабочей зоне.[32].

7. Отчуждение земель при строительстве энергоблоков.

Этот фактор воздействия энергетики на окружающую среду присущ всем способам получения энергии в большей или меньшей степени, что иллюстрируют цифры, приведенные в табл. 5.1. [30].

Таблица 5.1.

Площадь земель, занимаемая различными типами электростанций

Тип электростанции	Удельная занимаемая площадь, м ² /МВт
1. ТЭС:	
на жидком топливе	870
на газе	1500
на угле	2400
2. ГЭС	26500
3. АЭС	630
4. ЭС:	
на солнечной энергии	100000
на ветровой энергии	1700000

5.2. Гидроэлектростанции

Гидроэлектростанции (ГЭС) второй по общему объему мощности источник электроэнергии в России (~18 %). На ГЭС производится четвертая часть электроэнергии в мире, причем в некоторых странах гидроэнергетика играет основную роль в энергообеспечении, например, на ГЭС Норвегии вырабатывается 99 %, а в Бразилии - 87 % производимой электроэнергии.

В 1991 г. за счет эксплуатации ГЭС в СНГ было сэкономлено 70 млн. тунт (тонн условного топлива), что предотвратило выброс в атмосферу 1,2 млн. т золы и 2,2 млн. т SO₂ и NO_x. Однако ГЭС оказывает негативное воздействие на природу из-за затопления земель и нарушения водного и экологического равновесия источников гидроэнергии.[30].

В 1991 г. в СНГ работало 200 ГЭС, при их строительстве было затоплено 12 млн. га сельскохозяйственных угодий (из 22 млн. га, утраченных за последнее десятилетие). ГЭС и создаваемые при их строительстве водохранилища - это наиболее крупные техногенные объекты, расположенные в густонаселенных районах страны. Площадь Куйбышевского водохранилища 6450 км², Братского - 5470 км², Рыбинского - 4550 км²,

Волгоградского - 3120 км², Цимлянского - 2900 км², Кременчугского - 2250 км². [24].

Недавно стали всерьез изучаться экологические явления, характерные только для водохранилищ. Изменение уровня воды в водохранилищах происходит не по законам природы, а по командам диспетчера. Колебания различных параметров, определяющих условия обитания живых организмов, совершаются в виде скачков и вне зависимости от жизненных циклов населяющих водоем организмов. Снижается биопродукционный потенциал организмов. Масса сине-зеленых водорослей в отдельных местах начинает превышать 50 кг/м², при их отмирании и разложении резко уменьшается содержание кислорода в воде, выделяются токсические вещества. Гибнет рыба, вода становится непригодной для питья, ее практически невозможно использовать в технических целях, нарушаются рекреационные условия на побережье. Уменьшается самоочищающая способность водоемов, в отдельных зонах возникают заморные условия.

Зарегулирование рек позволило направить воду на орошаемые поля, заводы, электростанции. Гидроузлы ликвидировали во многих районах опасность весенних наводнений. Но в это же время водохранилища привели к постоянному затоплению лесов и лугов, многих населенных мест, памятников культуры, месторождений полезных ископаемых и других ценных объектов. Просачиваясь в грунт, вода подтапливает и заболачивает обширные прибрежные территории, изменяет их ландшафт и микроклимат. В результате близости Цимлянского водохранилища к г. Волгограду происходит подтопление грунтовыми водами фундаментов цехов завода "Атоммаш". [35].

Водоохранилища могут повышать сейсмичность районов расположения. Разрушение плотины крупной ГЭС способно вызвать катастрофическое наводнение.

Пристрастие к гигантомании и пагубность такого подхода в природопользовании особенно отчетливо видна на примере ГЭС.

В 1963 г. были введены в действие первые агрегаты Братской ГЭС, полная мощность которых 4,5 млн. кВт. Оказалось, что такая станция фактически не нужна, так как рядом не было промышленного комплекса. Тогда ударными темпами строится ЛЭП-500 для передачи мощности ГЭС в Иркутск и Западную Сибирь через Красноярск. Это привело к десятилетнему застою (1964-1974 гг.) на сибирских ТЭС. Мощность их снизилась до 50 %.

Оказалось, что в регионах с высоким удельным весом ГЭС больше половины их мощности не используется. Хотя зимой (особенно в маловодные годы) спрос на энергию удовлетворяется еле-еле и вводятся

всевозможные ограничения потребителей, а летом мощность ГЭС на 50 % не нужна.

Во всем мире сейчас отказываются от строительства крупных равнинных электростанций и переходят на мелкие, бесплотинные, которые лет 40 назад были придуманы в России. В настоящее время на Кольском полуострове 17 небольших электростанций, стоящих на малых реках незначительно нарушают своей работой окружающую среду, а регион и ближайших соседей обеспечивают энергией.

В недавние времена в районах создания крупных водохранилищ затоплялись большие участки леса. По мнению ведомственных чиновников, его вырубка приносила "копейки" и к тому же отодвигала сроки ввода ГЭС на несколько лет. Поэтому считалось "экономичным" оставлять лес под водой. Только при строительстве Богучанской ГЭС на Ангаре на корню перед затоплением оставлено около 2 млн. м³ древесины. Потом приходится расплачиваться за "экономия": лес гниет, водоемы становятся непригодными для всего живого. Член - корреспондент РАН Г. Галадий перечисляет адреса экологических преступлений: "При строительстве Братской ГЭС затоплено 40млн. м³ древесины. Ими можно было покрыть все нужды строительства и в определенной мере - заводов по ее переработке. Есть заливы на Братском море, в которые нельзя зайти катером - кругом торчат верхушки деревьев. На Усть-Илимской ГЭС под водой оказалось 20 млн. м³. На Енисее все повторилось. Знакомая картина на Вилюйской, Саяно-Шушенской ГЭС" [24].

После перекрытия Оби плотиной Новосибирской ГЭС и образования Новосибирского водохранилища изменились гидрологические условия Оби. В зоне основного водохранилища и Бердского залива активизировалось загрязнение воды и дна, так как водоем лишен возможности самоочищения в период ледохода и паводка. Уменьшился видовой и количественный состав рыб: стали преобладать лещ и судак - если первый пожирает икру других рыб, то второй поедает молодь.

После пуска первой ГЭС Енисей перестал замерзать на десятки км ниже плотины, следовательно, изменились и условия обитания в этом районе. Другим стал климат: сухой и здоровый воздух сменился влажным, туманным. Не вырубленный на дне Красноярского моря лес постепенно превращает водохранилище в зеленое цветущее месиво.

При строительстве Красноярской ГЭС энергетики не построили рыбоприемники и рыбоходы в плотине, что привело к прекращению нереста рыбы ценных пород в верхнем течении Енисея.

Несмотря на уже проявившие себя отрицательные экологические последствия идут дискуссии по проектам строительства Туруханской ГЭС на Нижней Тунгуске, Катунской ГЭС в Горном Алтае. Мнение

большинства ученых: строить эти ГЭС нецелесообразно. Анализ проекта строительства Туруханской ГЭС показал, что остается, например, неясным, что будет с подземными солеными озерами, которые попадают в район ложа водохранилища. Сейчас они скрыты вечной мерзлотой, которая после заполнения водохранилища может растаять, и соленые воды потекут в Енисей, убивая все живое. Для передачи энергии на дальние расстояния потребуются сверхмощные линии электропередачи, прокладка которых сложна и дорога. И таких проблем много.

Строительство Катунской ГЭС предполагается в одном из экологически чистых уголков Земли. Горный Алтай знаменит своими ландшафтами, кедровыми лесами, альпийскими лугами. Здесь обнаружено множество археологических памятников - стоянки древних людей, наскальная живопись. Ртутьсодержащие породы, попадающие в зону затопления, могут привести к превышению допустимых норм содержания ртути в воде, а также к нарушению водного баланса Оби. В 1989 г. Проект Катунской ГЭС был отклонен. Однако сейчас этот вопрос вновь стоит в повестке дня, хотя ясно, что для энергообеспечения таких уникальных районов должны рассматриваться альтернативные варианты.

5.3. Атомные станции

Ядерная энергетика занимает прочное место в энергетическом обеспечении ведущих стран мира. К концу 1995 г. в 30 странах действовало 438 ядерных энергоблоков, что обеспечивало выработку 17 % всей электроэнергии, производимой в мире.

По данным за 1992 г. доля АЭС в общей выработке электроэнергии составила, %: Франция - 72,9; Бельгия - 59,9; Швеция - 43,2; Япония - 27,2; США - 22,3; Великобритания - 23,2; СНГ - 12,6; Россия - 11,1. [30].

В 1993 г. АЭС России выработали 119,2 млрд. кВт/час (12,48 % электроэнергии, полученной в России).

В 1988 г. средняя стоимость киловатт-часа электроэнергии составила: ТЭС - 0,966 коп., АЭС - 1 коп., ГЭС - 0,15 коп.. [24].

По данным [36] соотношение издержек производства электроэнергии ТЭС/АЭС для некоторых стран в 1991 г. составило: Бельгия - 1,33; Франция - 1,44; Япония - 1,24; Испания - 0,95 (все ТЭС на импортируемом угле).

Несмотря на значительно более высокие капитальные затраты издержки производства электроэнергии на АЭС сопоставимы с таковыми на ТЭС [36]. Для стран, не обладающих значительными ресурсами органического топлива или практически не имеющих их, единственной реальной альтернативой ископаемым источникам является атомная

энергия. Так, Япония намечает увеличить в 2005 г. не только абсолютную величину мощности АЭС, но и их удельный вес в общем объеме электроэнергетической мощности страны. [30].

Справедливости ради нужно отметить некоторые достоинства АЭС, работающей в нормальном режиме, по сравнению с уже рассмотренными выше способами производства электроэнергии.

Главное достоинство атомной энергии - ее высокая энергоемкость. Например, в 1985 г. четыре блока Ленинградской АЭС выработали 28,5 млрд. кВт/ч электроэнергии. Для производства такого же количества энергии на ТЭС потребовалось бы 200 тыс. вагонов угля вместо 3-4 вагонов ядерного топлива, так как 1 т урана по выделяемой теплоте эквивалентна 2,5 - 3 млн. т каменного угля.

При сжигании 1 т угля уничтожается $1,5 \cdot 10^3$ м³ атмосферного кислорода, в то время как АЭС производит энергию, не потребляя кислорода. При эксплуатации АЭС не вырабатываются вещества, создающие парниковый эффект и разрушающие озоновый слой. Экологические последствия эксплуатации ТЭС с разными видами топлива и АЭС с реактором типа ВВЭР мощностью 1000 МВт (эл.) иллюстрирует табл. 5.2. [37].

Табл. 5.1. иллюстрирует преимущество АЭС с точки зрения отчуждения земель при строительстве энергоблоков.

Еще одно из преимуществ АЭС - возможность приблизить станцию к потребителю энергии. На каждой тысяче километров линии электропередачи теряется до 10 % вырабатываемой энергии. Перевозка органического топлива из восточных районов в западные составляет более 40 % грузооборота железных дорог.

Несмотря на указанные преимущества даже в условиях безаварийной работы АЭС ее технология и отходы представляют исключительную опасность для жизни. На некоторых АЭС при определенных режимах работы ядерных реакторов может образовываться плутоний (с содержанием изотопа - 239 свыше 90 %), который может быть использован для ядерного оружия. «Оружейный» уран содержит более 90 % изотопа - уран 235, а слабо обогащенный уран для АЭС - до 5 % этого изотопа урана, что не уменьшает его опасности для организма. Если при дыхании в организм человека попадает 10 мкг плутония - 239, то человек неизбежно заболевает раком легких. Плутониевый шар величиной с грейпфрут потенциально содержит такое количество радиоактивного излучения, что его достаточно, чтобы уничтожить почти все население планеты без всякого взрыва. [24].

По оценкам, приведенным в [30], средние годовые дозы облучения от выбросов АЭС составляют от 0,004 - 0,008 мкЗв (ВВЭР) до 0,015 - 0,13 мкЗв (РБМК). Предел дозы по НРБ - 76/87 составляет 5000 мкЗв за год.

Таблица 5.2.

Экологические последствия эксплуатации ТЭС и АЭС

Потребление топлива и выбросы	Тепловая ЭС			Атомная ЭС
	Угольная	Мазутная	Газовая	
Потребление топлива, т/год	$3,9 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$ м ³ /год	~200
Потребление атмосферного кислорода, м ³ /год	$5,5 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$	$4,4 \cdot 10^9$	-
Газовые выбросы, т/год:				
углекислый газ	$1 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	-
окислы серы	124400	84000	-	-
окислы азота	34200	21900	23600	-
Канцерогенные вещества, т/год:				
бенз(а)пирен	0,012	0,013	-	-
пятиокись ванадия	37	550	-	-
Твердые отходы, т/год	830000	-	-	~25-30

Для сравнения, радиационная нагрузка на человечество от искусственных источников такова [38]:

Медицина	Доза (мЗв/год)
диагностика	0,4
терапия	0,05
ядерная медицина	0,05
Техника (светящиеся циферблаты, излучение от телевизоров и т.д.)	в сумме около 0,6

Необходимо отметить, что облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, причем одни из них получают большие дозы, чем другие. Это зависит, в частности, от того, где они живут. Так, согласно исследованиям, проведенным во Франции, ФРГ, Италии, Японии и США, примерно 95 % населения этих стран живет в местах где мощность дозы облучения, в среднем, составляет от 0,3 до 0,6 мЗв, но некоторые группы населения получают значительно большие дозы облучения: около 3 % получает в среднем 1 мЗв в год, а около 1,5 % - более 1,4 мЗв в год. [39].

Есть, такие места, где уровни земной радиации намного выше. Неподалеку от города Посус-ди-Калдас в Бразилии уровень радиации достигает 250 мЗв в год. На пляжах города Гуарапари в той же Бразилии зарегистрирован уровень радиации 175 мЗв в год. На юго-западе Индии на

узкой прибрежной полосе уровень радиации достигает 17 мЗв в год. Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например, в Ираке, Нигерии, во Франции, на Мадагаскаре. Таким образом, по утверждению ученых при нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики [39]. Более того, как уверяет тот же источник, для гражданина какой-либо промышленно развитой страны, получающего сполна всю среднюю индивидуальную дозу облучения как от естественных, так и от техногенных источников радиации, вероятность погибнуть в автомобильной катастрофе в 5 раз, а вероятность преждевременной смерти из-за курения (при выкуривании 20 сигарет в день) более чем в 100 раз превышает вероятность умереть от рака вследствие облучения.

В расчете на единицу производимой энергии АЭС сбрасывает в окружающую среду больше теплоты, чем ТЭС при аналогичных условиях. Расход воды на охлаждение такой крупнейшей тепловой станции как Конаковская ГРЭС составляет 70-90 м³/с, что соответствует стоку Южного Буга. Для мощных АЭС этот расход достигает 180 м³/с [29]. В связи с этим возникает проблема разработки замкнутых циклов охлаждения, новых способов отвода тепла, использования "сбросного топлива". Все это должно преследовать цель не только повышения общей эффективности использования установки, но прежде всего снижения величины рассеиваемой в окружающую среду энергии.

Атомные электростанции являются лишь частью ядерного топливного цикла, который начинается с добычи и обогащения урановой руды. Следующий этап - производство ядерного топлива. Отработанное на АЭС ядерное топливо иногда подвергается вторичной обработке, чтобы извлечь из него уран и плутоний. Заканчивается цикл, как правило, захоронением радиоактивных отходов.

На каждой стадии ядерного топливного цикла в окружающую среду попадают радиоактивные вещества.

Примерно половина всей урановой руды добывается открытым способом, другая половина - шахтным. Добытая руда отправляется на обогатительную фабрику. И рудники, и особенно обогатительные фабрики создают проблему долговременного загрязнения: в процессе переработки руды образуется огромное количество отходов - "хвостов". Вблизи действующих обогатительных фабрик уже скопилось несколько сотен млн. т и если положение не изменится в начале следующего века эта величина возрастет до 500 млн. т [39]. Эти отходы будут оставаться радиоактивными в течение миллионов лет. Таким образом, отходы являются главным долгоживущим источником облучения населения, связанным с атомной энергетикой.

Урановый концентрат на специальных заводах подвергается дальнейшей переработке и очистке и превращается в ядерное топливо. В результате такой переработки образуются газообразные и жидкие радиоактивные отходы, однако, дозы облучения от них намного меньше, чем на других стадиях ядерного топливного цикла.

В мире примерно 10 % использованного на АЭС ядерного топлива направляется на переработку для извлечения урана и плутония с целью повторного их использования. При этом, например, отходы заводов в Ла-Аге (Франция) и Уиндскейле (Великобритания) попадают в море.

Со времени пуска в 1954 г. в Обнинске первой в мире АЭС, атомная энергетика накопила много трудных вопросов. Один из них связан с последней стадией ядерного топливного цикла - захоронением высокоактивных отходов АЭС.

Для каждого из нескольких видов радиоактивных отходов существует своя технология захоронения. Жидкие отходы после "упаривания" и "заклучения" в битумную или бетонную (в настоящее время в стекольную) массу помещают в наземные или подземные хранилища из бетона, расположенные при АЭС. Твердые отходы загружают в железобетонные емкости для длительного хранения. Могут создаваться специальные могильники для захоронения отходов. Радиоактивные отходы герметически изолируются в бетонных контейнерах или в железных бочках и укладываются в бетонные саркофаги.

Контейнеры могут разрушаться, и тогда отходы проникают в почву и грунтовые воды. Иногда в нашей стране жидкие отходы "закачивают" глубоко под землю (Сибирский химический комбинат), при этом существует опасность их проникновения в грунтовые воды (в особенности, если геологи при выборе глубины захоронения допустили ошибки). Современная технология предусматривает возможность захоронения твердых радиоактивных отходов вместе с жидкими, их "связывают" цементом (в отношении 2-7 долей цемента на одну долю отходов).

Единственно верный способ - переработка радиоактивных отходов. Как это делают, например, во Франции: отходы извлекают из реактора АЭС, в течение года их хранят в изоляции на территории АЭС (за это время отходы утрачивают часть своей радиоактивности), затем их доставляют на опытный завод, где они выдерживаются на складе еще два года, после чего механическим или химическим путем освобождают отходы от изолирующей оболочки и растворяют в азотной кислоте: азотнокислые соли урана и плутония выделяют в виде твердого вещества и в дальнейшем используют вновь. [24].

К сожалению, на АЭС и предприятиях, на которых осуществляется ядерный топливный цикл, случаются аварии и даже катастрофы, подобные

Чернобыльской. Трагедия Чернобыля - ужасное событие! Но она - только еще одно звено в длинной цепи реализации возрастающих вероятностей технико-экологического риска, связанного с использованием ядерных сил. По данным мировой печати и оценкам ученых, с 50-х гг. по настоящее время произошли сотни и сотни рискованных эпизодов с участием атомной энергии как в "военном мундире", так и в "гражданском платье". Только на 400 АЭС в мире произошло 27 более или менее крупных аварий и среди них наиболее значительные - в Уиндскейле (1957, Великобритания), "Тримайл-Айленд" (штат Пенсильвания, США, 1979 г.), Чернобыль (СССР, 1986). Нельзя не вспомнить, в связи с этим, и о событии, которое непосредственно коснулось каждого томича - аварии на СХК в апреле 1993 г.

У истоков всех аварий лежит сложный комплекс воздействия разнопорядковых факторов. Печальный опыт показал, что современная технология требует, прежде всего, максимального внимания, дисциплины, ответственности каждого.

О трагедиях забывать нельзя, но и жить с этим комплексом невозможно. Абсолютно надежной техники не бывает. Достичь нулевой безопасности в атомной энергетике не удастся, но исключить возможность катастроф типа Чернобыльской - дело реальное. Работы такие ведутся. В плане повышения безопасности АЭС идет ускоренная разработка реакторов с внутренне присущей безопасностью, у которых имеется так называемый отрицательный температурный коэффициент реактивности. Этим качеством обладают: высокотемпературный реактор на гелии, жидкосолевой реактор. Продолжается освоение быстрого реактора - размножителя на тории, запасы которого гораздо больше, чем урана. К тому же торий, в отличие от плутония, не может быть использован эффективно в атомном оружии.

Основным техническим решением для обеспечения радиационной безопасности АЭС является надежная многобарьерная защита на пути возможного аварийного выхода радиоактивных веществ. Обеспечение безопасности АЭС - дело всех стран, развивающих атомную энергетику, уровень научно-технического прогресса в состоянии обеспечить требуемую безопасность развития атомной энергетики. Эксперты по анализу причин аварий на АЭС сходятся в одном, что роль человеческого фактора в них является решающей. [40].

5.4. Альтернативные источники энергии

Есть виды энергии, которые издавна использовались человеком: солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная. Сегодня они называются нетрадиционными или альтернативными.

Неиссякаемым источником тепловой энергии является Солнце. Однако солнечная радиация относится к рассеянному виду энергии - с 1 км² земной поверхности можно получить лишь десятые доли киловатта. Кроме того, ее интенсивность непостоянна, она меняется в течение суток и времени года. Необходимость сбора с земной поверхности, концентрации и аккумуляирования солнечной энергии делают ее неконкурентоспособной для централизованной выработки электроэнергии. С учетом потерь эффективная потребная площадь гелиостатов на 100 МВт производственной мощности составит около 5 км², к тому же солнечные батареи имеют коэффициент полезного действия немногим более 10 %, на них расходуется металл, они очень дороги. Хотя вопросы использования солнечной радиации в локальных масштабах - для отопления, опреснения, нагревания воды, а также развития гелиоэлектростанций в регионах России, где продолжительность солнечного сияния достигает 2200 - 1700 часов в год (Кавказ, Алтай) становятся все более актуальными.

Один из старых источников энергии - ветер. Лучшие условия для работы ветровой станции обеспечиваются при скорости ветра 10 - 14 м/с. Первая в мире ВЭС мощностью 8 кВт была построена в Курске в 1930 г. Работы по созданию современных ВЭС ведутся в Англии, Франции, Германии, Канаде, Швеции.

Самая крупная в мире ветровая электростанция мощностью 3 МВт сооружается в Швеции; ветроэлектрический агрегат будет размещен на высоте более 80 м и работать при скорости ветра от 6 до 21 м/с.

Наиболее перспективными для эксплуатации ветроэлектрических установок в России являются районы Дальневосточного Приморья и Мурманской обл.

Несмотря на бытующее мнение об экологической чистоте ветроэлектрических установок, при работе их возникает инфразвук, гибнут птицы, попадающие во вращающиеся лопасти.

Велики ресурсы геотермальной энергии. По приближенным подсчетам они эквивалентны 100 млн. т условного топлива в год. Россия обладает весьма большими запасами термальных вод - разведаны подземные бассейны горячих и подогретых вод в Западной Сибири, на крайнем Севере, Камчатке и на Кавказе. Тюменское подземное "море" термальных вод превосходит по своей площади Черное море, температура воды в нем колеблется от 60 до 300°С. Наиболее перспективной для использования тепловой энергии недр является Камчатка, ее электроэнергетический потенциал оценивается в 300 МВт.

Сейчас эти ресурсы используются мало, так как для получения водяного пара с высокой температурой и давлением необходимо бурить скважины на большую глубину. В некоторых районах земного шара

(Исландия, Калифорния, Япония) имеется доступ к водяному пару с температурой 200-400°C. Такой пар можно использовать для получения электроэнергии. Однако большинство термальных вод дает пароводяную смесь с температурой 100-120°C. Такую смесь применяют, в основном, для систем теплоснабжения.

Однако современная технология получения электроэнергии на геотермальных станциях не является экологически чистой. Технология сводится, в основном, к приему из скважины паровоздушной смеси, отделение пара от воды и подачи его в паровые турбины энергоблоков. При этом отдавшие тепловую энергию воды (количество их весьма велико) являются отходами производства. Эти воды в большей или меньшей степени минерализованы (до 30 % и более). Подсчитано, что геотермальная электростанция мощностью, например, 100 МВт расходует за год около 100 млн. т воды, содержащей огромное количество соединений серы, мышьяка, бора, свинца и фтора. Сточные воды этих электростанций загрязняют поверхностные и грунтовые воды, а также почву. Так, в воды реки Уайкато (Новая Зеландия) 75 % содержащегося в ней мышьяка и значительное количество ртути попадают со сточными водами геотермальной электростанции. Чтобы избежать загрязнения почв кофейных плантаций в Сальвадоре соединениями бора, сточные воды геотермальной электростанции отводятся по специальному каналу в Тихий океан [31].

Кроме того, при работе геотермальных станций в атмосферу выделяются различные сернистые и другие газообразные соединения.

Еще один вид альтернативной энергетики - приливные электростанции. Мощность морских приливов планеты в 100 раз превосходит мощность существующих ГЭС. Однако удобных мест для строительства и эксплуатации крупных приливных электростанций (ПЭС) относительно немного. Затраты на сооружение и работу ПЭС в основном определяются параметрами плотин. Так, в Пенжинском заливе Охотского моря проектируется сооружение ПЭС мощностью до 100 МВт при длине отсекающей плотины 75 км.

В 1967 г. во Франции на берегу Ла-Манша в устье реки Ранс была построена первая крупная ПЭС, спустя один год в СССР была введена в эксплуатацию Кислогубская приливная электростанция на побережье Баренцова моря.

ПЭС "Ранс" эксплуатируются уже более 25 лет, ежегодно надежно выдает в систему 500 млн. кВт/ч электроэнергии независимо от времени года и наносит минимальный ущерб окружающей среде [41]. Хотя, как отмечает автор, абсолютно чистым этот источник не является, поскольку любое вмешательство человека в естественный поток энергии ведет к тем или иным нарушениям экосистемы. В результате снижения мощности

приливных течений произошло сильное заиление морского дна, что лишило водоросли необходимого для них твердого субстрата. Это привело к снижению разнообразия многих водорослей, сокращению зоны распространения морских водорослей в нижнем течении реки Ранс. В районах строительства ПЭС происходит осушение болот на территории строительства и усложняется охрана некоторых видов животных и птиц.

Таким образом, считать экологически чистыми альтернативные источники энергии можно лишь сравнительно с другими источниками. И как не привлекательна идея использования нетрадиционных энергоносителей, в ближайшем будущем они не смогут серьезно повлиять на уровень энерговооруженности человечества, тем более, что себестоимость производства электроэнергии на них, как минимум, на порядок выше, чем на традиционных.

По прогнозам, по крайней мере, до середины следующего столетия, уголь и ядерная энергетика будут основой для крупномасштабного производства энергии и оба не без последствий для окружающей среды, как и любые другие, к сожалению.

Сложность решения проблем экологии и безопасности энергетических установок вызвали к жизни общественные движения, часть из которых стоит на крайних позициях: запретить строительство атомных и тепловых электростанций. Следование этим требованиям может привести к непредсказуемым кризисным последствиям. Современный человек настолько зависит от энергетики, что остановка сразу даже не всех электростанций по своим последствиям явится тяжелой экологической катастрофой [42].

В числе аргументов против развития энергетики высказывается сомнение, нужно ли нам такое количество энергии? Стоит ли возводить новые электростанции? Не лучше ли научиться беречь энергию? По этому пути идет сейчас весь мир. По оценкам экспертов энергосбережение позволит понизить темпы роста производства электроэнергии на 35 - 40 % [43].

Значение слова "энергосбережение" иллюстрирует график, составленный американским исследователем А. Розенфельдом (рис. 5.3) [44].

По форме кривых легко судить об истории страны за эти годы. Для передовых в промышленном отношении государств линии графика идут слева направо почти без повышения. Это значит, что национальный доход рос без увеличения затрат энергоресурсов, только за счет их экономии. Особенно впечатляет линия Японии, впрочем и в государствах Западной Европы дела идут неплохо. Для бывшего СССР, при малом душевом доходе, линия затрат энергоресурсов круто взлетает вверх, что является результатом экстенсивного метода развития народного хозяйства. В связи с этим нам предстоит в ближайшем будущем усвоить этический принцип

Бенджамин Франклин: не расточай природу и умеряй желания. И здесь в значительной мере могут помочь усилия "зеленых".

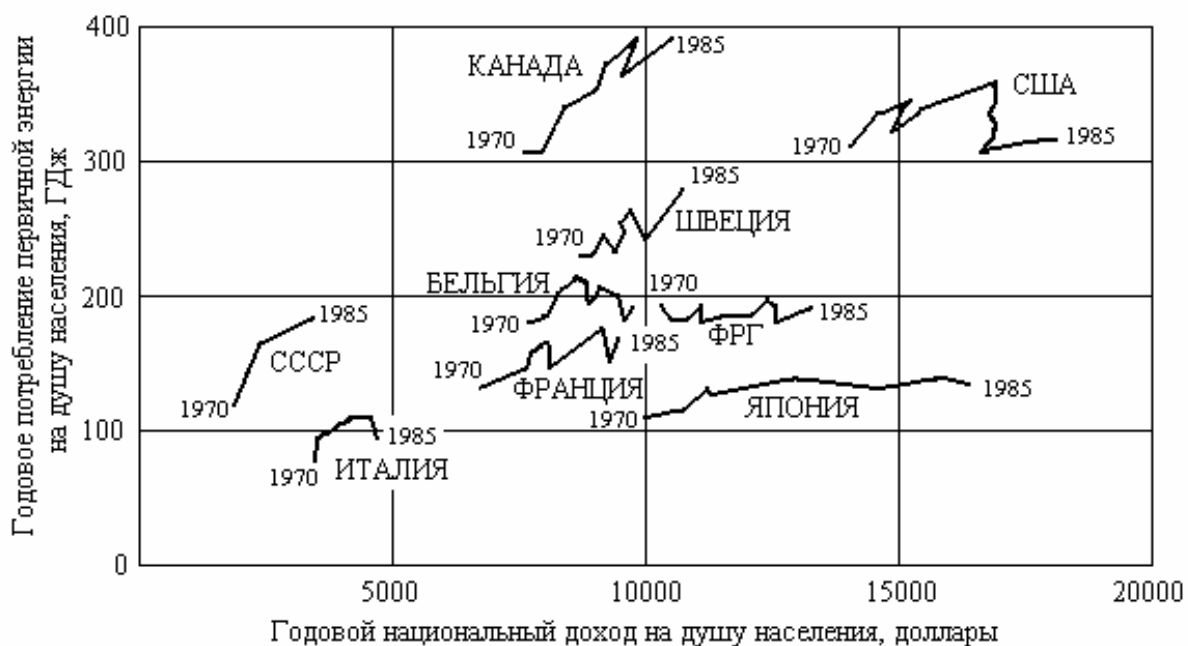


Рис. 5.3. Изменение годового потребления энергии и национального дохода (по данным А. Розенфельда)

И еще один вывод очевиден, если посмотреть на рис. 5.3. Снижение кривых, если и встречается кое-где, то лишь на небольшом протяжении. Значит надежды на то, что сбережение может стать главным рычагом для достижения баланса энергии, к сожалению, иллюзорны.

Следовательно, если мы хотим жить достойной цивилизованной жизнью, возрастающую потребность в электроэнергии нужно разумно удовлетворять при условии экономичного и экологически чистого ее производства, энергосбережения, с учетом бережного отношения к природным ресурсам.

Глава 6. ОХРАНА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Благодаря специфическому газовому составу, способности поглощать и отражать солнечную радиацию, озоновому слою, в котором задерживается основная часть коротковолнового излучения Солнца, благоприятному температурному режиму и присутствию водяного пара, атмосферу можно назвать одним из главных источников жизни на Земле.

6.1. Строение и состав газовой оболочки Земли

Атмосфера – газовая оболочка Земли, масса которой около $5,9 \cdot 10^{15}$ т.

В зависимости от температуры в газовой оболочке различают несколько зон, располагающихся на различных высотах от Земли.

В тропосфере, простирающейся на высоте от 7 до 18 км над уровнем моря (минимум над полюсами и максимум над экватором), происходит интенсивное вертикальное перемещение воздуха и здесь находится основная его масса (до 80 %). Именно здесь происходят все те явления, которые мы именуем погодой – образуются все осадки, облака, грозы и штормы. С увеличением высоты температура в тропосфере понижается до -50°C .

Выше тропосферы находится стратосфера, протяжённость которой около 50 км. Температура в ней вначале остаётся постоянной, а с высотой повышается до $+10^{\circ}\text{C}$ из-за поглощения озоном ультрафиолетового излучения. Над стратосферой лежит мезосфера, выше которой расположена термосфера, где температура повышается от 200°C до 1500°C .

С высотой уменьшается атмосферное давление. Газовый состав атмосферы представлен в табл. 6.1. [10].

Таблица 6.1.

Газовый состав атмосферы

Компоненты	Содержание, % по объёму	Компоненты	Содержание, % по объёму
1. Азот	78,09	9. Оксид азота	$2,5 \cdot 10^{-4}$
2. Кислород	20,94	10. Водород	$5 \cdot 10^{-5}$
3. Аргон	0,93	11. Метан	$1,5 \cdot 10^{-4}$
4. Диоксид углерода	0,033	12. Диоксид азота	$1,5 \cdot 10^{-4}$
5. Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$	13. Озон	$2 \cdot 10^{-6}$
6. Гелий	$5,2 \cdot 10^{-4}$	14. Диоксид серы	$2 \cdot 10^{-8}$
7. Криптон	$1 \cdot 10^{-4}$	15. Оксид углерода	$1 \cdot 10^{-5}$
8. Ксенон	$8 \cdot 10^{-6}$	16. Аммиак	$1 \cdot 10^{-6}$

Атмосфера состоит в основном из кислорода и азота. Кислородно-азотный состав сохраняется примерно до высоты 400-600 км. Выше 600 км в атмосфере до высоты 1600 км преобладает гелий. Далее преобладает водород.

6.2. Источники загрязнения атмосферы

Колоссальная масса воздушной оболочки Земли и сбалансированность естественного круговорота в биосфере её газовых компонентов создают иллюзию неисчерпаемости ресурсов атмосферного воздуха. Однако, если учесть, что кроме исчерпаемости атмосфера должна сохранять природные качества, эта иллюзия исчезает.

Уже начиная с XIX столетия, по мере развития промышленности, а затем энергетики и транспорта газовое равновесие в атмосфере начинает нарушаться: в круговорот естественный начинает вмешиваться социальный обмен веществ (см. главу 2).

Сегодня загрязнение атмосферы достигло колоссальных масштабов.

Главные источники загрязнения атмосферы: естественный и антропогенный [53]:

I. Естественное загрязнение:

1. Внеземное (космическая пыль);
2. Земное:
 - а) морское;
 - б) континентальное:
 - дым;
 - неорганическое (выветривания, вулканизм);
 - органическое (растения, животные).

II. Антропогенное загрязнение:

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. Радиоактивное: | 2. Прочие: |
| а) урановая руда: | а) промышленность |
| - добыча; | б) транспорт |
| - транспортировка; | в) жилища |
| - переработка; | г) сельское хозяйство. |
| б) эксплуатация реакторов; | |
| в) атомные взрывы; | |
| г) отходы ТЭЦ. | |

Космическая пыль образуется из остатков сгоревших метеоритов при их прохождении в атмосфере. Ежегодно её выпадает на Землю 2 – 5 млн.т.

Природная пыль является составной частью земной атмосферы. Она представляет собой мельчайшие твёрдые взвешенные в воздухе частицы и

ядра конденсации. Частицы природной пыли имеют органическое и неорганическое происхождение и образуются в результате разрушения и выветривания горных пород и почвы, вулканических извержений, лесных, степных и торфяных пожаров, испарения с поверхности морей. Одним из источников пыли в нижних слоях атмосферы являются безводные пустыни и степи. Кроме того, пыль образуется аэропланктоном, спорами растений, плесневыми и другими грибами, продуктами гниения, брожения и разложения растений и животных.

Атмосферный воздух над океаном включает мельчайшие кристаллы солей магния, натрия, калия, кальция, которые образуются в результате высыхания в воздухе брызг воды.

Как правило, естественное загрязнение не угрожает отрицательными последствиями для экосистем и обитающих в них живых организмов.

Источниками антропогенного загрязнения атмосферы являются транспорт, теплоэнергетика, предприятия ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), промышленные и сельскохозяйственные предприятия. Несмотря на многообразие веществ, выбрасываемых в атмосферу этими источниками, можно указать наиболее распространённые выбросы: зола, пыль, оксиды серы, азота, сероводород, углеводороды, аммиак, оксиды углерода и т.д. За год в атмосферу Земли выбрасывается 200 млн.т. оксида углерода, более 20 млрд.т. диоксида углерода, 150 млн.т. диоксида серы, 53 млн.т. оксидов азота, свыше 250 млн.т. пыли, 120 млн.т. золы, более 50 млн.т. углеводородов [10].

6.3. Последствия загрязнения атмосферы

Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие не только на человека, но и на флору, фауну, на различного рода сооружения.

Рассмотрим несколько наиболее важных последствий загрязнения воздушной среды.

6.3.1. Парниковый эффект

С 1880 г. содержание диоксида углерода в атмосфере увеличилось с 0,027 % до 0,033 %. Учёные считают, что содержание CO_2 в атмосфере будет удваиваться каждые 23 года.

Повышение концентрации CO_2 в атмосфере может, по мнению многих учёных, вызвать глобальные изменения климата Земли в связи с так называемым парниковым эффектом.

Сущность этого эффекта состоит в том, что слой воздуха, обогащённого CO_2 , хорошо пропускает солнечную радиацию, но задерживает длинноволновое тепловое излучение Земли. Отражённый земной поверхностью

солнечный свет в инфракрасной области поглощается в тропосфере и нижних слоях стратосферы, приводя к повышению их температуры.

Прошедший в 1997 г. Всемирный экологический форум в Киото констатировал, что через двадцать лет на Земле станет теплее на 3 градуса. Такого не наблюдалось за всю предыдущую историю человечества. Ночи будут теплее, летом станет больше жарких дней, а зимой – холодных. Проливные дожди будет сменять продолжительная засуха. Самый стремительный рост средней температуры на Земле за последние 50 лет наблюдается в районе Антарктиды. Здесь потеплело на 2,5 градуса, что вызвало обрушение ледников площадью в несколько тысяч квадратных километров и повышение уровня Мирового океана. Уровень воды в морях и океанах за последнее время поднялся на 10-15 сантиметров. К 2100 году, по прогнозам специалистов, он увеличится ещё на метр. Это приведёт к затоплению береговой линии и необходимости эвакуировать сотни миллионов человек. Увеличение температуры воздуха может привести к увеличению смертности среди лиц старше 65 лет. Однако Земле грозит не только большой потоп. По мнению американского эколога Уолленса Бороскера из Колумбийского университета, увеличение концентрации промышленных газов может изменить океанические течения. Например, обогревающий Европу Гольфстрим. И тогда температура в Дублине упадёт на 10 градусов.

Итоговый протокол форума в Киото зафиксировал обязательства стран Европейского союза сократить к 2010 году загрязнение атмосферы на 8 % по сравнению с 1990 годом.

6.3.2. Разрушение озонового слоя

От перераспределения и содержания озона, количество которого в атмосфере невелико ($2 \cdot 10^{-6}$ % по объёму) зависит не только метеообстановка, но и жизнедеятельность всей биосферы. Озон не пропускает на Землю опасное ультрафиолетовое излучение с длиной волны меньше 0,2 мкм. Вместе с тем, озон не пропускает около 20 % земного излучения – это препятствует охлаждению планеты.

В 1975 году сотрудники Калифорнийского университета Молина и Роуленд опубликовали результаты теоретических исследований, где предсказали, что накопление хлорфторуглеродов, в частности фреонов, в атмосфере может стать причиной разрушения озонового слоя и вызвать в ближайшем будущем ряд проблем, ставящих под угрозу жизнь человечества.

Фреоны, или, хладоны, находят широкое применение в холодильных установках, в аэрозольных огнетушителях, в бытовых аэрозольных упаковках, при производстве пластмасс, компьютерных микросхем.

В начале 80-х годов английские учёные на станции Халли-Бей в Антарктиде заметили уменьшение концентрации озона над континентом. Исследования показали, что в 1980 г. содержание озона в атмосфере над станцией уменьшилось на 20 % по сравнению с нормой, в 1983 г. – на 30 %, в 1984 г. – на 35 %, в 1985 г. – на 40 %. В 1987 г. озоновая дыра занимала площадь 8 млн. км², причём количество озона в этой области сократилось почти на 50 %. Местами дыра вышла за пределы Антарктиды, захватив Мельбурн. При этом в Австралии значительно возросла заболеваемость меланомой – раком кожи.

В чём угроза накопления фреонов в атмосфере для озонового слоя? Предполагается, что диффундируя в стратосферу, молекулы фреонов под действием солнечного излучения в ходе химического разложения выделяют атомы хлора, которые катализируют распад озона, особенно при низких температурах. Производные хлора попадают в стратосферу и с продуктами сгорания топлива космических ракет.

Слой озона уменьшается не только над Антарктидой. В 1994 году гигантская озоновая аномалия захватила территории Западной, Восточной Европы, бывшего СССР, США, над которыми – на протяжении 12 месяцев – озоновый слой уменьшался на 10-15 %, а в отдельные месяцы – на 20-30 %. В феврале 1995 года над рядом районов Восточной Сибири зарегистрировано снижение озона на 40%.

В 1985 г. была принята Венская конвенция по охране озонового слоя, в 1987 г. – Монреальский протокол к конвенции по веществам, разрушающим озоновый слой. Предусмотрено поэтапное сокращение производства и потребления хлорфторуглеродов.

6.3.3. Кислотные осадки

Диоксиды серы и азота, главным источником которых являются мощные теплоэлектростанции, путешествуя на высоте несколько сотен метров, за счёт соединения с атмосферной влагой образуют серную и азотную кислоты, выпадающие с осадками, часто в десятках километров от источника выделения. Так, Норвегия, выбрасывая в атмосферу двуокиси серы меньше других стран (табл. 6.2.), более других страдает от кислотных осадков. В Швеции и Норвегии рыба погибла в 6500 озёрах и 7 реках [27]. Ущерб не ограничивается гибелью водных обитателей. По пищевой цепи гибнут птицы и животные. Выбросы попадают в Норвегию, которая вытянута вдоль направления миграции загрязнений атмосферы.

Кислотные осадки разрушают хлорофилл в листьях растений. Листья темнеют, краснеет хвоя. К кислотным осадкам очень чувствительны злаки,

фасоль, свёкла, редис, помидоры. Происходит закисление почв и подземных вод, что делает непригодной для употребления колодезную воду.

Таблица 6.2.

Динамика выбросов двуокиси серы (1985г.)

№ п/п	Страна	Выбросы, тыс. т. в год
1.	Норвегия	48
2.	Швеция	189
3.	Финляндия	185
4.	СССР (европейская часть)	5900
5.	ФРГ	1375
6.	ГДР	2000
7.	Дания	185
8.	Великобритания	1845
9.	Франция	1088

Диоксид серы и другие её соединения раздражают слизистую оболочку глаз и дыхательные пути. Продолжительное действие малых концентраций SO_2 ведёт к возникновению хронического гастрита, бронхита, ларингита, рака лёгких [10].

6.3.4. Смог

Промышленные предприятия, городской транспорт и теплогенерирующие установки являются причиной смога - колоссального загрязнения воздушной среды над городами. Способствуют смогу и неблагоприятные погодные условия – отсутствие ветра, температурная инверсия.

При обычных условиях температура воздуха над воздушным бассейном населённого пункта значительно ниже той температуры, которую имеет воздух в околосемном пространстве. Поэтому даже при отсутствии ветра происходит вентилирование воздушного бассейна: имеющий меньшую массу тёплый загрязнённый воздух поднимается вверх, а чистый воздух, большей массы, поступает вниз. В некоторых местах Земли (Лондон, Лос-Анджелес, Кемерово, Нижний-Тагил и т.д.) часто возникает температурная инверсия, когда воздух над воздушным бассейном имеет более высокую температуру, чем в приземном слое, и, следовательно, меньшую массу. Поэтому чистый воздух не может опуститься вниз и вентилировать воздушный бассейн. Ситуация ещё более усугубляется отсутствием ветра – все вредные вещества, поступающие в воздушный бассейн, остаются над городом.

В 1952 году смог в Лондоне за 5 дней погубил 5000 человек, а 10000 получили тяжёлые заболевания.

Различают два типа смогов:

1) восстановительный (дым, сажа, SO₂)

Максимальные уровни загрязнений наблюдаются утром при $t = 0^{\circ}\text{C}$. Раздражает дыхательные пути.

2) фотохимический

Образуется при взаимодействии окислов азота с углеводородами выхлопных газов. Это белёсый туман, иногда желтовато-коричневого оттенка, вызывающий резкую боль в глазах и слезотечение. Образование фотохимического смога ускоряется в присутствии солнечных лучей, поэтому максимальные уровни его приходятся на полдень.

Если вдуматься в сложившуюся ситуацию, то можно прийти к выводу о том, что наблюдается процесс медленного самоубийства человечества. По сравнению с 1900 годом в мире в несколько раз увеличилась заболеваемость, связанная со злокачественными новообразованиями. Медики и экологи считают, что практически 40 % заболеваний (онкология, инфекционные заболевания, сахарный диабет, бронхиальная астма и т.п.) вызваны экологическими причинами.

Иногда именно загрязнение воздуха приводит к смертельным исходам. Чаще умирают люди, уже страдавшие тяжёлыми заболеваниями органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Однако есть фактор, бесспорно коррелирующий с числом серьёзных лёгочных и сердечно-сосудистых заболеваний – это курение. Курильщики в загрязнённом воздухе больше подвержены заболеваниям лёгких, чем в отсутствие загрязнения. [19]. Курение и загрязнение воздуха обладает сильным синергическим эффектом.

Таким образом, увеличение загрязнения атмосферы приводит к росту числа различных заболеваний и преждевременных смертей.

6.4. Нормирование атмосферных загрязнений

Основной физической характеристикой примесей атмосферы является концентрация (мг/м³). Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия вещества на окружающую среду и является основным параметром при нормировании атмосферных загрязнений.

Нормативы содержания загрязняющих веществ в воздухе представляет собой предельно допустимые концентрации (ПДК).

ПДК – это концентрация вредного вещества в окружающей среде, которая при постоянном контакте или при воздействии в определённый промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства [2].

С позиций экологии ПДК вредных веществ имеют смысл верхнего предела устойчивости организма, при превышении которого то или иное вещество (т.е. фактор) становится лимитирующим [10].

Наиболее характерными воздействиями вредных веществ на организм являются токсические и рефлекторные воздействия. Это обстоятельство вызвало необходимость установления для загрязняющих веществ двух видов ПДК: максимальную разовую и среднесуточную.

Максимальная разовая величина ПДК не должна допускать рефлекторных реакций человека (насморк, ощущение запаха и т.п.). Среднесуточная ПДК не должна допускать токсического, канцерогенного, мутагенного воздействия.

При проектировании предприятий в районах, где атмосферный воздух уже загрязнён выбросами от других действующих предприятий, необходимо нормировать их выбросы с учётом уже присутствующих в воздухе примесей (фоновой концентрации).

Если имеется несколько источников выбросов, требование к качеству воздуха населённого пункта выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N C_{\min} \leq \text{ПДК} - C_{\phi}, \quad (6.1)$$

где C_{mi} - наибольшая концентрация вредного вещества в воздухе населённого пункта от i -го источника; C_{ϕ} - значение фоновой концентрации; N - число источников, через которые данное вещество поступает в воздух.

При наличии выбросов нескольких веществ, обладающих эффектом суммации, условия санитарных норм будут выполнены, если

$$\sum_{i=1}^K \left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_i - C_{\phi_i}} \right) \leq 1. \quad (6.2)$$

Для регулирования выбросов вредных веществ в атмосферу используются индивидуальные для каждого вещества и предприятия нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ), которые учитывают количество источников, их высоту, распределение выбросов во времени и пространстве и другие факторы.

Предельно допустимые выбросы – предельное количество вредного вещества, разрешаемое к выбросу от данного источника, которое не создаёт приземную концентрацию, опасную для людей, животного и растительного мира. ПДВ – расчётная величина, определяемая по формулам и с помощью специальных программ на ЭВМ. Каждое предприятие должно иметь согласованный с местным органом охраны природы перечень (том) ПДВ.

6.5. Уменьшение загрязнения воздушной среды

6.5.1. Уменьшение загрязнения от промышленных предприятий

Существует ряд мероприятий, направленных одновременно на уменьшение загрязнения внутренней и наружной среды. Рассмотрим некоторые из них [52].

I. Уменьшение загрязнения внутренней производственной среды.

Может достигаться:

- 1) заменой токсичных веществ, обращающихся в технологическом процессе, нетоксичными или малотоксичными, т.е. совершенствованием технологического процесса;
- 2) использованием выбросов для других процессов и производств, т.е. созданием малоотходных технологий;
- 3) герметизацией аппаратуры и коммуникаций, проведением технологических процессов в вакууме.

При невозможности герметизации в местах выделения вредных веществ устраивают вентиляционные укрытия и отсосы.

- 4) гидроподавлением – разбрызгиванием на источник пыли воды;
- 5) проведением технологических процессов с выделением особо токсичных веществ в изолированных помещениях с применением роботов и манипуляторов.

II. Очистка технологических и вентиляционных выбросов.

1. Улавливание взвешенных частиц

Для улавливания взвешенных частиц применяются сухие и мокрые пылеуловители.

В основе работы сухих аппаратов лежат гравитационные, инерционные, центробежные или фильтрационные механизмы осаждения.

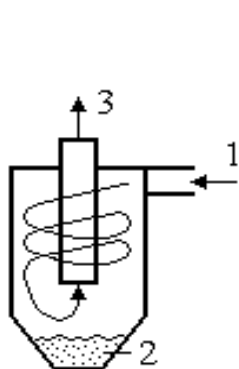
В основе работы электрофильтров – сообщение взвешенным частицам электрического заряда и их осаждение на электроде.

В мокрых пылеуловителях используется контакт запылённых газов с жидкостью.

На рис. 6.1. представлена схема циклона. Газопылевая смесь подводится к корпусу циклона тангенциально, поэтому частички пыли, вращаясь около внутренней поверхности корпуса, осаждаются, но не под действием центробежных сил и удаляются снизу, а очищенный газ через расположенную в центре трубу уходит в атмосферу. Для повышения эффективности пылеулавливания применяют гидроциклоны, в которых внутренняя поверхность корпуса смачивается водой.

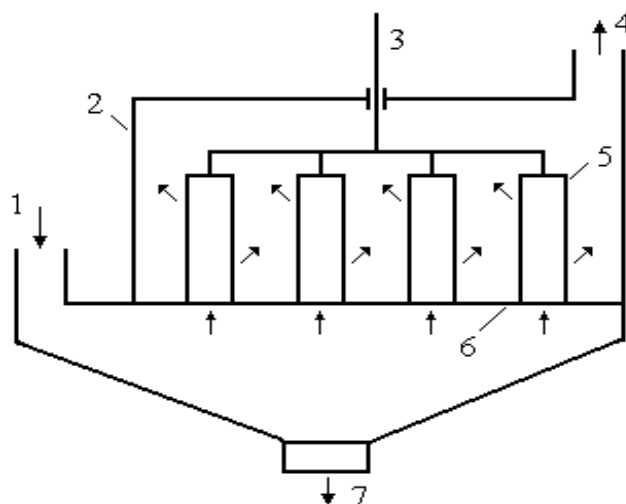
Распространёнными пылеуловителями являются матерчатые рукавные фильтры, где пыль задерживается на ворсистом материале (рис.6.2.).

Корпус фильтра представляет собой металлический шкаф, разделённый вертикальными перегородками на секции, в каждой из которых размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и повешены к раме, соединённой со встряхивающим механизмом, внизу имеется бункер для пыли.



- 1 – загрязненный поток;
- 2 – уловленная взвесь;
- 3 – очищенный воздух

Рис. 6.1 – Схема циклона



- 1 – загрязненный газ; 2 – корпус; 3 – встряхивающее устройство; 4 – очищенный газ;
- 5 – рукава; 6 – распределительная решетка;
- 7 – пыль

Рис. 6.2 – Рукавный фильтр

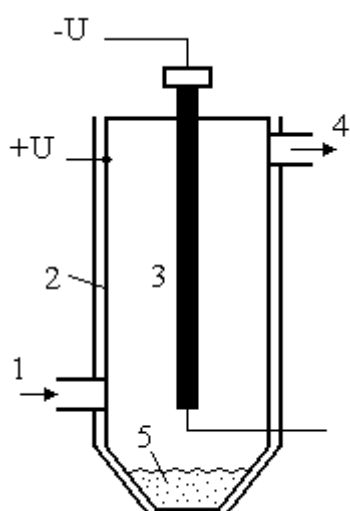
Более эффективными аппаратами для улавливания пыли являются электрофильтры, устанавливаемые, например, в котельных теплоэлектростанций для улавливания сажи и золы. Схема простейшего электрофильтра, иллюстрирующая принцип его действия, представлена на рис. 6.3. Под действием соответствующей разности потенциалов между электродами 2 и 3 создаётся коронный разряд, поставляющий в междуэлектродное пространство электроны. Очищаемый поток газов проходит через пространство между электродами, где частицы пыли заряжаются (посредством "прилипания" к ним электронов), и основная их масса оседает на осадительном электроде.

Большое распространение для очистки воздуха от взвешенных частиц получили мокрые пылеуловители: ротоклоны, барботеры, скрубберы. На рис. 6.4. представлена схема полого форсуночного скруббера [55]. Он представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между газом и каплями жидкости.

2. Очистка от газообразных примесей

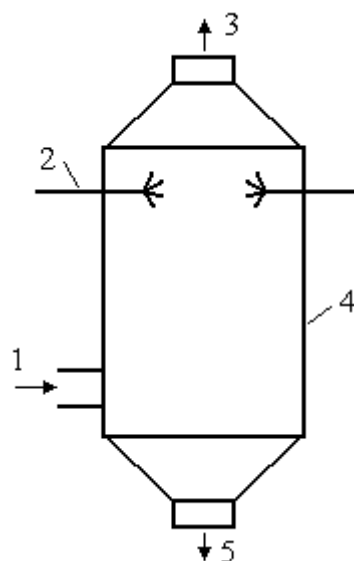
Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от

газообразных примесей применяются адсорберы и абсорберы.



1 – загрязненный поток; 2 – осадительный электрод; 3 – коронирующий электрод; 4 – очищенный поток; 5 – взвесь

Рисунок 6.3 – Схема электрофильтра



1 – запыленный газ; 2 – форсунки; 3 – очищенный газ; 4 – корпус; 5 – шлам

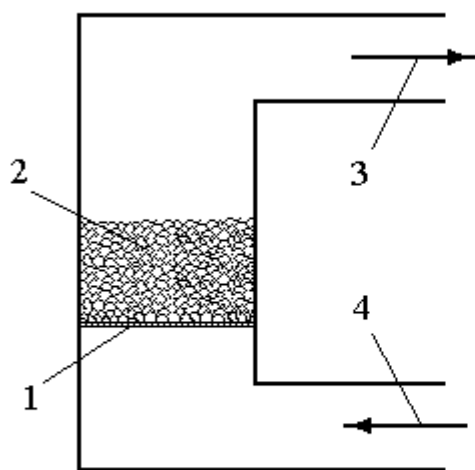
Рисунок 6.4 – Схема скруббера

В адсорберах (рис. 6.5.) очищаемый поток пронизывает слой адсорбента, который связывает вредные газы и пары. Существуют адсорберы с неподвижным слоем адсорбента и с так называемым «кипящим» (псевдооживленным) слоем, где адсорбент поддерживается во взвешенном состоянии. В абсорберах (рис. 6.6.) для очистки применяют жидкие вещества: воду или растворы солей, поглощающие газообразные примеси.

Термическая нейтрализация основана на способности горючих газов и паров, входящих в состав технологических или вентиляционных выбросов, сгорать с образованием менее токсичных веществ. Для этого используют нейтрализаторы. Различают три схемы термической нейтрализации: прямое сжигание; термическое окисление; каталитическое дожигание.

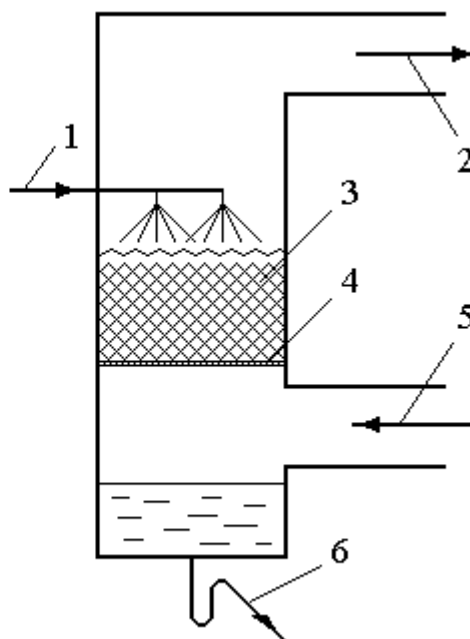
Прямое сжигание используют в тех случаях, когда очищаемые газы обладают значительной энергией, достаточной для поддержания горения. Примером такого процесса является факельное сжигание горючих отходов. Так нейтрализуют циановодород в вертикально направленных факелах на нефтехимических заводах. Существуют схемы камерного сжигания отходов, которые можно использовать для нейтрализации паров токсичных горючих или окислителей при их сдувах из емкостей.

Термическое окисление применяется в тех случаях, когда очищаемые газы имеют высокую температуру, но не содержат достаточно кислорода или когда концентрация горючих веществ незначительна и недостаточна для поддержания горения. В первом случае процесс термического окисления проводят в камере с подачей свежего воздуха (дожигание оксида углерода и углеводородов), а во втором – при подаче дополнительно природного газа.



1 – сетка; 2 – адсорбент; 3 – очищенный поток; 4 – загрязненный поток

Рисунок 1.5 – Схема адсорбера



1 – абсорбент; 2 – очищенный поток; 3 – насадка; 4 – сетка; 5 – загрязненный поток; 6 – выброс в канализацию

Рисунок 1.6 – Схема абсорбера

Каталитическое дожигание используют для превращения токсичных компонентов, содержащихся в отходящих газах, в нетоксичные или менее токсичные путем их контакта с катализаторами. Для реализации процесса необходимо, кроме катализаторов, поддержание таких параметров газового потока, как температура и скорость газов. В качестве катализаторов используют платину, палладий, медь и др. Температуры начала каталитических реакций газов и паров изменяются в пределах 200...400°C. Объемные скорости процесса каталитического дожигания обычно устанавливают в пределах 2000...6000 ч⁻¹ (объемная скорость – отношение скорости движения газов к объему катализаторной массы). Каталитические нейтрализаторы применяют для обезвреживания оксида углерода, летучих углеводородов, растворителей и т.п.

III. Строительство предприятий в районах с отсутствием температурных инверсий (см. раздел 6.3.4.)

6.5.2. Уменьшение загрязнения от теплогенерирующих установок

Перечислим некоторые мероприятия по уменьшению загрязнения атмосферы от теплогенерирующих установок:

1. Сжигание угля с известняком $-\text{SO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$;
2. Барботирование через известковое молочко (гашёную известь) $\text{SO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$;
3. Облагораживание топлива: обогащение угля, обработка нефти методом каталитической гидрогенизации с целью извлечения серы;
4. Применение мазута с малым содержанием серы или газа;
5. Использование вторичных энергетических ресурсов: выбросного пара, горячих газов от котлов, печей, вентиляционных выбросов;
6. Ликвидация малых отопительных установок благодаря развитию централизованного теплоснабжения, что упрощает очистку дымовых газов.
7. Применение инженерных коммуникаций глубокого заложения;
8. Транспортировка углей в затаренном виде, с противопылевой обработкой поверхности.

6.5.3. Уменьшение загрязнения от автотранспорта

Увеличение численности автомобильного транспорта ухудшает состояние воздушной среды в населённых пунктах, поэтому возникла необходимость разработки ряда мероприятий, уменьшающих загрязнение атмосферы выбросами автотранспорта.

1. применение электромобилей, работающих от подзаряжаемых на станциях батарей-аккумуляторов;
2. применение электромобилей гибридного типа с топливным и электроаккумуляторным двигателями: на топливном двигателе машины эксплуатируются за городом, при этом подзаряжается батарея-аккумулятор, на котором машина работает в городе;
3. улавливание из выхлопных газов дизельных автомобилей сажи с помощью механических и электрических сажеуловителей;
4. использование неэтилированного бензина;
5. использование автотранспорта на сжиженном (баллонном) газе;
6. введение ограничений на движение индивидуального транспорта и использование электротранспорта (троллейбусов);
7. улучшение состояния городских дорог, так как остановки, торможения, изменение скорости, дополнительное маневрирование увеличивают выделение в воздух вредных веществ.

Рассеивание загрязнений достигается:

1. устройством высоких труб – при выбросе на большую высоту вредные вещества, достигая приземного пространства, рассеиваются, их концентрации снижаются до предельно допустимых;
2. использование факельных выбросов: через конические насадки на выхлопном отверстии загрязнённые газы выбрасываются вентилятором со скоростью 20-30 м/с;
3. устройство санитарно-защитных зон – территорий определённой протяжённости и ширины, располагающихся между предприятиями или источниками загрязнения и границами зон жилой застройки;
4. расположение предприятий с подветренной стороны по отношению к жилым массивам с учётом местной розы ветров.

6.5.4. Использование зелёных насаждений

Зелёные насаждения обогащают воздух кислородом, способствуют рассеиванию вредных веществ и поглощают их.

По характеру защитного действия посадки разделяют на изолирующие и фильтрующие. Изолирующими называют посадки плотной структуры, которые создают на пути загрязнённого воздушного потока механическую природу. При нормальных метеоусловиях они снижают газо- и парообразные примеси (сернистый ангидрид, окись углерода, фенол) на 25-35 % вследствие рассеивания и отклонения загрязнённого воздушного потока, а также поглощающего действия зелёных насаждений.

Фильтрующими называют посадки, продуваемые и ажурные по структуре, выполняющие роль механического и биологического фильтра при прохождении загрязнённого воздуха сквозь зелёный массив. Эти посадки являются основными для санитарно-защитных зон, они занимают около 90 % всей озеленённой площади, под которую рекомендуется отводить 60-75 % общей площади санитарно-защитной зоны [52].

Ассортимент растений рекомендуется выбирать дифференцированно для каждой зоны территории в зависимости от степени загрязнения воздуха. При этом в [10] указывается на ошибочную тенденцию использования при озеленении территорий жилой застройки, предприятий, санитарно-защитных зон таких растений, которые наиболее устойчивы к загрязняющим веществам: устойчивость растений может создать иллюзию относительной чистоты воздуха, в то время как фактически он будет загрязнён. Наименее устойчивые древесно-кустарниковые породы могут служить индикаторами опасных уровней загрязнения атмосферы.

6.6. Методы и средства контроля воздушной среды

6.6.1 Контроль концентрации пылеобразных примесей

Гравитационный метод. Гравитационный (весовой) метод заключается в выделении частиц пыли из пылегазового потока и определении их массы. Отбор проб воздуха, содержащего частицы пыли, проводят, например, методом фильтрации. В качестве фильтрующих материалов в отечественных пылемерах используются аналитические аэрозольные фильтры (АФА). Концентрацию пыли рассчитывают по формуле:

$$C = m / Q \tau,$$

где m – масса пробы пыли, мг; Q – объёмный расход воздуха через пробоотборник, м³/с; τ – время отбора пробы, с.

Достоинства метода – определение массовой концентрации, отсутствие влияния химического и дисперсного состава. Недостаток – большая трудоёмкость.

Радиоизотопный метод. Метод основан на свойстве ионизирующего излучения (β - излучения) поглощаться частицами пыли. Массу уловленной пыли определяют по степени ослабления ионизирующего излучения при прохождении его через слой пыли. Результаты измерения зависят от химического и дисперсного состава.

Оптические методы. Различают следующие оптические методы:

а) фотометрический метод основан на измерении оптической плотности запылённого потока по степени рассеивания света;

б) абсорбционный метод основан на явлении поглощения света при прохождении его через пылегазовую среду.

Пьезоэлектрический метод. Существует в двух вариантах:

а) изменение частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности пыли (определяется массовая концентрация пыли);

б) счёт электрических импульсов при соударении частиц пыли с пьезокристаллом (счётная концентрация).

6.6.2 Контроль концентраций газо- и парообразных примесей

Контроль концентраций газо- и парообразных примесей производится с помощью газоанализаторов, позволяющих осуществлять мгновенный и непрерывный контроль.

Для экспрессного определения токсичных веществ используются универсальные газоанализаторы (УГ-2, ГХ-2 и др.), работа которых основана на линейно-колористическом методе анализа. При просасывании воздуха через индикаторные трубки, заполненные поглотителем, происходит изменение окраски порошка. Длина окрашенного слоя

пропорциональна концентрации исследуемого вещества (мг/л). Отечественный газоанализатор позволяет определить концентрацию 16 различных газов и паров: окиси углерода, сернистого ангидрида, сероводорода, толуола, метилового спирта и др.

Контроль газовых примесей осуществляется с помощью оптических, электрохимических, термохимических и др. методов.

Оптические методы наиболее распространены.

Принцип действия оптических газоанализаторов основан на избирательном поглощении газами лучистой энергии в инфракрасной, ультрафиолетовой или видимой областях спектра.

Приборы, работающие в инфракрасной области, применяются для определения окиси и двуокиси углерода и метана.

Приборы, в которых лучистая энергия поглощается газами в ультрафиолетовой области спектра, применяют для обнаружения паров ртути, никеля, озона.

Действие фотоколориметрических газоанализаторов основано на поглощении лучистой энергии в видимой области спектра растворами или индикаторными лентами, изменяющими свою окраску при взаимодействии с определённым газовым компонентом. Различают жидкостные и ленточные фотоколориметры. В жидкостных фотоколориметрах концентрация анализируемого компонента воздуха определяется по изменению светопоглощения раствора. Принцип действия ленточных фотоколориметров основан на фотометрировании индикаторной ленты, предварительно обработанной раствором, вступающим в химическую реакцию с определённым компонентом.

Получили распространение газоанализаторы, использующие эмиссию излучения анализируемой газовой примеси. Сущность метода состоит в том, что молекулы оксидов азота, соединений серы приводят в состояние оптического возбуждения и регистрируют интенсивность люминесценции, возникающей при возвращении их в равновесное состояние.

К электрическим методам относятся:

- кондуктометрические – анализируемый компонент газовой смеси поглощается соответствующим раствором, электропроводность которого измеряется. Применяется для определения концентрации сероводорода, сернистого ангидрида, аммиака, оксида и диоксида углерода;

- кулонометрические – между анализируемым газом и электролитом в ячейке протекает электрохимическая реакция, во внешней цепи появляется эдс, пропорциональная концентрации определяемого компонента. Применяется для определения концентрации диоксида азота, озона, фтористого и хлористого водорода.

Хроматографические методы основаны на разделении газовой смеси сорбционными методами в результате поглощения газовых компонентов на активных центрах адсорбции. Так как физические свойства отдельных составляющих газовой смеси различны, они продвигаются по хроматографической колонке с разной скоростью, что позволяет отдельно фиксировать их на выходе. Применяются для определения концентрации двуокиси углерода, сероводорода, ртути, мышьяка и др.

Лазерными методами регистрируется рассеивание излучения лазера частицами аэрозолей и молекулами газов. Рассеянная энергия принимается антенной локатора. Регистрируя и расшифровывая следы взаимодействия лазерных импульсов с атмосферными слоями, можно извлечь информацию о давлении, плотности, температуре, концентрации различных газовых составляющих атмосферы.

Глава 7. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

7.1. Характеристика водных ресурсов Земли

В гидросфере Земли, как уже отмечалось, происходит круговорот воды. Перемещение воды происходит во всех направлениях. Распределение воды в гидросфере, в том числе, в разных агрегатных состояниях представлено в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Распределение водных масс в гидросфере
(по М.И. Львовичу, 1986)

Форма нахождения	Объём, 10^3 км^3	Процент
Мировой океан	1370000	94,0
Подземные воды, в том числе активного водообмена	60000 4000	4,0 0,3
Ледники	24000	1,7
Озёра	280	~0,02
Почвенная влага	80	~0,01
Пары атмосферы	14	~0,001
Речные воды	1,2	~0,0001
Всего	1454000	100,00

Площадь водной поверхности $360,8 \cdot 10^6 \text{ км}^2$, средняя глубина мирового океана 3,8 км.

Химический состав вод разнообразен.

Растворённые вещества определяют солёность – массу растворённого вещества, в граммах, в 1000 г морской воды. Так, например, определяется хлорность морской воды. Согласно формуле Кнудсена

$$S = 0,03 + 1,805C,$$

где S – солёность воды, C – хлорность воды.

Солёность вод океана определяется несколькими химическими элементами – ионами. Это катионы Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , анионы Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . На остальные элементы приходится 4,2 %. Солёность S воды в океане изменяется в пределах 34 – 36 %. Важное звено в круговороте воды – ледники. Они формируются в полярных и высокогорных районах и характеризуются малой минерализацией. Континентальные воды – реки, озёра, болота – образуются в соответствии с климатом данной местности и по составу растворённых солей также разнообразны. При этом соотношения концентрации ионов достаточно постоянны и обратны морской воде:

- в морской воде: $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$,
- в материковых водах: $\text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{HCO}_3^-$.

Подземные воды различно минерализованы, отличаются отсутствием кислорода. Их верхние слои – грунтовые воды – участвуют в круговороте воды. К подземным водам относятся и термальные воды – гейзеры. Поскольку воды Земли минерализованы и постоянно мигрируют, гидросфера участвует в круговороте веществ (микроэлементов) в биосфере.

Пресные воды составляют 3 % массы всех вод Земли. Реально доступной или пригодной для использования людьми является 0,001 часть пресных вод.

7.2. Потребители пресной воды

Пресная вода расходуется на удовлетворение хозяйственно-бытовых нужд населения, промышленностью, сельским хозяйством. Различают возвратное потребление – с возвращением забранной воды в источник (коммунальное хозяйство, промышленность, водохранилища) и безвозвратное водопотребление – с расходом её на фильтрацию, испарение и т.п. (в основном, в сельском хозяйстве). Хотя запасы речных вод невелики (1200 км^3 или 0,0001 % объёма всей гидросферы), именно речная вода обеспечивает основной объём потребляемой воды в быту и народном хозяйстве, так как речные воды обладают значительной способностью к возобновлению и самоочищению.

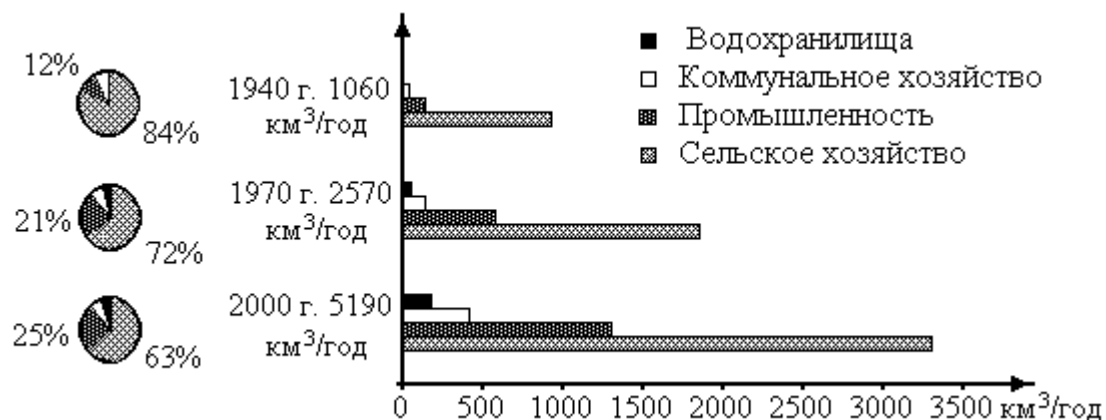


Рис. 7.1 – Динамика водопотребления в мире по видам хозяйственной деятельности. Слева – данные о полном водопотреблении и его структуре (%)

Процесс урбанизации, интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства ведут к непрерывному возрастанию водопотребления (в течение 20-го века оно возросло более чем в 7 раз). На рис. 7.1. показана

динамика водопотребления в мире по видам хозяйственной деятельности. На 2000 г 63 % полного водопотребления (или 86 % безвозвратного) в мире приходится на сельское хозяйство. Так, за 20-й век площадь орошаемых земель возросла с 47 млн. га до 347 млн. га. Примерно такая же ситуация к 1991-92 г.г. сложилась в бывшем СССР: потребление воды на промышленные нужды составляло около 30 %, в сельском хозяйстве – 57 %, в коммунальном хозяйстве – 8 %. Существенно иная ситуация в Российской Федерации: в 1991 г. из потреблённых 117 км^3 на нужды промышленности ушло 53%, на сельское хозяйство – более 20 %, на хозяйственно-питьевые нужды – 15 %.

7.3. Потери пресной воды. Экологические последствия

Как отмечено выше (разд. 7.2), объём речных вод составляет ничтожную часть (0,0001 %) объёма гидросферы. Между тем до настоящего времени потребление человеком пресной воды осуществляется, главным образом, за счёт вод речного стока. Это понятно: речная сеть наиболее доступна для изъятия пресной воды как по распространённости по земной поверхности (по сравнению, например, с озёрами, в которых пресной воды содержится больше на два порядка величины, но распределены озёра крайне неравномерно), так и по энергетическим и другим издержкам на изъятие (по сравнению, например, с забором воды из подземных источников). Кроме того, воды речной сети наиболее динамичны и способны к возобновлению и самоочищению. Годовой сток речной сети в мировой океан составляет, по разным оценкам, в среднем $(15-16) \cdot 10^3 \text{ км}^3$ в год. Если отнести прогнозируемое на 2000 г. водопотребление в мире ($5190 \text{ км}^3/\text{год}$, рис. 7.1.) к среднему многолетнему стоку мировой речной сети $(15-16) \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$, то окажется, что усреднённый общемировой водозабор приближается к 30 % от общемирового усреднённого стока речной сети. Конечно, в такой оценке не учтён водозабор из подземных источников, из озёр (этот водозабор учтён в прогнозной величине водопотребления $5190 \text{ км}^3/\text{год}$). Поэтому реальное отношение годового водозабора к годовому стоку будет несколько меньше 30 %, но дело идёт к этому.

В этой ситуации чрезвычайно важно предельно минимизировать безвозвратное водопотребление. То есть такое водопотребление, при котором определённая доля воды, забираемая водопользователем, например, из речной сети, в речную сеть не возвращается. К сожалению, сегодняшние технологии в промышленности, сельском хозяйстве, коммунальном хозяйстве предопределяют значительные потери пресной воды. В табл. 7.2. для указанных видов хозяйственной деятельности приведены данные по полному водопотреблению и безвозвратным

потерям (в знаменателе, здесь же – процентное содержание потерь) на территории бывшего СССР в 1900, 1980 и 2000 г. (прогноз).

Таблица 7.2.

Полное водопотребление и безвозвратные потери, в км³/год по видам хозяйственной деятельности на территории бывшего СССР (по И.А. Шикломанову, 1988)

Водопотребитель	1900г.	1970г.	2000г.
Сельское хозяйство	41,6	130,5	250,5
	26,4(63,5%)	60,2(46,1%)	205,2(81,9%)
Промышленность	1	70	130
	0,1 (10%)	5(7.1%)	34 (26,15%)
Коммунальное хозяйство	1,6	9,7	34
	0,6 (37,5%)	2 (20,6%)	7 (20,5%)
Водохранилища	0	14,6	23,4
	0	14,6 (100%)	23,4 (100%)
Общее (округлено)	44	225	440
	28 (63,6%)	107 (47,5%)	270 (61,4%)

Как следует из табл. 7.2., в 2000 г. на территории бывшего СССР из 440 км³ потреблённых пресных вод 270 км³ (или 61,4 %) будет безвозвратно изъято, прежде всего, из речного стока. Если положить, что на территории бывшего СССР, как и в среднем в мире, водозабор составляет ~30 % от стока, то с учётом того, что безвозвратные потери пресных вод в 2000 г. оценены в 61,4 %, получается, что речная сеть данной территории сегодня безвозвратно теряет $0,614 \cdot 30 \% \approx 18,5 \%$ своего стока. Эту же цифру можно, в первом приближении, отнести и к миру в целом.

Разумеется, данные потери не абсолютно безвозвратны для биосферы. Фактически в процессе водопользования часть воды из речной сети переводится в атмосферную влагу за счёт испарения (как, например, в устройствах охлаждения нагретых вод ТЭС и АЭС) или в почвенную и атмосферную влагу (как при орошении в сельском хозяйстве) и, таким образом, остаётся в биосфере. Но водоёмам, точнее биоте водоёмов, прежде всего рек, от этого не легче: уменьшение практически на 20 % массы воды в реках приводит к резкому изменению условий обитания всех участников. Интенсивное одновременное загрязнение речных вод коммунальными, промышленными и сельскохозяйственными стоками ведёт к деградации рек речной системы территории бывшего СССР. Характерные примеры: реки Средней Азии – Амур-Дарья и Сыр-Дарья, практически «разобранные» на орошение хлопковых плантаций и другие хозяйственные нужды по пути их следования к Аральскому озеру-мору, и

предопределившие, таким образом, начавшуюся гибель Аральского моря; река Дон, водозабор которой составил 64 %, что соответствует безвозвратным потерям его вод в 40 %, а в июне-августе, на которые приходится более 60 % водозабора, легендарный тихий Дон вообще дышит на ладан.

При безвозвратном отводе воды экологические последствия затрагивают не только собственно реку. Пересыхают или уже пересохли болота вдоль множества рек, так как болота в гораздо меньшей степени подпитываются периодическими паводками. Это приводит к исчезновению большого количества водной дичи и многих видов животных и растений, ранее обитавших в этих местах. Это касается и эстуариев-заливов, в которых пресная вода, выходящая из устьев рек в мировой океан, постепенно смешивается с морской. Эстуарии – одни из самых продуктивных экосистем в биосфере: прекрасные места размножения многих видов рыб, моллюсков, водяных птиц. При уменьшении речного стока солёность воды в эстуариях возрастает, что резко изменяет экологию данных вод.

7.4. Источники загрязнения воды.

Экологические последствия загрязнения природных вод

Согласно рекомендациям Всемирной организации здоровья (ВОЗ) вода в водоёме (водотоке) считается загрязнённой, если в результате изменения её состава или состояния вода становится менее пригодной для любых видов водопользования, в то время как в природном состоянии она соответствовала предъявляемым требованиям. Определение касается физических, химических и биологических свойств, а также наличия в воде посторонних жидких, газообразных, твёрдых и растворённых веществ.

В настоящее время все источники загрязнения гидросферы принято делить на четыре большие группы.

1. Атмосферные воды. Во-первых, они приносят в гидросферу массу загрязнителей промышленного происхождения. Так, атмосферные воды вымывают из воздуха оксиды серы и азота, образуя упомянутые выше (разд. 2.6.4.) кислотные дожди. При стекании по склонам атмосферные и талые воды увлекают с собой массы веществ с городских улиц, промышленных предприятий: мусор, нефтепродукты, кислоты, фенолы и др.
2. Городские сточные воды, включающие преимущественно бытовые стоки, содержащие фекалии, моющие средства (детергенты), микроорганизмы, в том числе патогенные.
3. Промышленные сточные воды, образующиеся в самых разнообразных отраслях промышленности, среди которых наиболее активно потребляют (и загрязняют) воду: чёрная металлургия, химическая, лесохими-

ческая, нефтеперерабатывающая промышленность, энергетика и др.

Внутри предприятий сточные воды, как правило, подразделяются на сильно загрязнённые стоки, слабо загрязнённые воды, условно чистые воды (охлаждающие воды), специфические чрезвычайно концентрированные стоки (например, кубовые остатки и маточные растворы), бытовые и хозяйственно-фекальные стоки, направляемые на биологическую очистку. Очевидно, что по химическому составу промышленные стоки наиболее разнообразны, поскольку именно здесь производятся или обращаются практически все известные сегодня вещества.

4. Сельскохозяйственные стоки, содержащие смытые в процессе эрозии частицы почвы, биогены, входящие в состав удобрений, пестициды (химические средства для защиты сельскохозяйственных растений и животных соответственно от сорняков, паразитов, насекомых), помёт сельскохозяйственных животных и ассоциированные с ним бактерии и др.

Все эти загрязнения, так или иначе, являются полностью или в основном побочным результатом деятельности человека, всей человеческой популяции. Напомним, что каждый организм, каждая популяция в естественной экосистеме производит отходы, потенциально загрязняющие биосферу. Однако в естественных экосистемах отходы одних организмов становятся пищей или «сырьём» для других и не накапливаются до уровня, вызывающего неблагоприятные изменения в окружающей среде, разлагаются и рециклируются.

На протяжении своей истории человек избавлялся от отходов за счёт таких же природных процессов. Демографический взрыв и возрастающий расход сырья и энергии привели к поступлению в биосферу (в том числе в гидросферу) столь больших количеств отходов, что естественные экосистемы уже не способны ассимилировать и рециклизовать их. Мало того, производится всё больше небiodeградирующих материалов, что усугубляет проблему.

В настоящее время нет единой классификации сточных вод, узаконенной правилами или нормами. Ряд классификаций сточных вод и их примесей приводятся в работах по очистке сточных вод. В качестве критериев используется и характер воздействия примесей на водоёмы. Так, широко распространена классификация сточных вод, в основе которой лежит различие характера примесей с точки зрения их физико-химического состава. Согласно этой классификации примеси в сточных водах делятся на две группы [61, 62].

Первая представляет собой примеси, образующие с водой стоков гетерогенные системы. Сюда входят, во-первых, нерастворимые в воде примеси с величиной частиц 100 нм и более (грубодисперсные примеси,

ГДП). Грубодисперсные частицы распределяются в воде механически и практически не способны к диффузии. В зависимости от разницы плотности вещества частицы и воды, $\Delta\rho$, частицы могут быть тонущими, $\Delta\rho > 0$, взвешенными, $\Delta\rho = 0$, всплывающими, $\Delta\rho < 0$. Такая гетерогенная система образует эмульсию, если грубодисперсная примесь – жидкость, или суспензию, если примесь – твёрдое тело. В области нижней границы дисперсного спектра (ближе к 100 нм) грубодисперсные примеси выделяются из воды с большим трудом и могут пребывать в ней значительное время, вызывая мутность воды. К этим примесям относится широко распространённый термин: взвешенные вещества.

В первую группу входят также коллоидно-дисперсные примеси с величиной коллоидных частиц от 1 до 100 нм. Эти частицы участвуют в броуновском движении (способны к диффузии). Коллоидные примеси обладают большой седиментационной устойчивостью (равномерным распределением по объёму воды), а также агрегативной устойчивостью (неизменностью дисперсного состава в течение длительного времени). Последнему способствует то обстоятельство, что коллоидные частицы имеют одинаковые (отрицательные) электрические заряды, и электрическое поле зарядов частиц затрудняет их коагуляцию (укрупнение) и седиментацию (оседание).

Примеси второй группы относятся к истинно растворённым примесям, представляющим собой отдельные ионы, молекулы или комплексы, состоящие из нескольких молекул. Частицы таких примесей имеют размеры менее 1 нм. Они не имеют поверхности раздела, поэтому вместе с водой они составляют гомогенную систему.

По химическому характеру примеси разделяются на газовые, минеральные и органические.

В табл. 7.3 представлена классификация сточных вод по их действию на водоёмы.

Как следует из Главы 2, водоёмы представляют собой сложные экосистемы существования сообщества (биоценоза) живых организмов (гидробионтов): растений, животных, микроорганизмов. Экосистемы формировались в течение длительного времени эволюции. В них постоянно идут процессы поддержания гомеостаза экосистемы, то есть адаптации биоценоза к изменяющимся условиям существования, в том числе и процессы изменения состава примесей, направленные на достижение равновесия в экосистеме. Состояние равновесия может быть нарушено в результате многих причин, но особенно в результате сброса сточных вод. Отклонение экосистемы от равновесного состояния, вызванное сбросом сточных вод, может привести к отравлению и гибели определённых популяций гидробионтов, что приводит к угнетению всего биоценоза. Отклонение от

равновесия интенсифицирует процессы, приводящие водоём в оптимальное (равновесное) для него состояние и называемые процессами самоочищения водоёма. Важнейшие из них [61,62]: осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей; окисление (минерализация) органических примесей; окисление минеральных примесей кислородом; нейтрализация кислот и оснований; гидролиз ионов тяжёлых металлов, приводящий к образованию их малорастворимых гидроокисей и выделению их из воды.

Таблица 7.3

Классификация сточных вод по их действию на водоёмы

Группа	Характер примесей	Характер действия примесей на водоёмы и водные организмы	Источник сточных вод
1	Неорганические со специфическими токсическими свойствами	Изменение органолептических и физико-химических свойств воды; отравление водных организмов, жаберные заболевания рыб и т.д.	Производства химической промышленности, электрохимические производства, тепловые электрические станции и др.
2	Неорганические без специфических токсических свойств	Содержат взвешенные вещества	Производство керамической, силикатной промышленности, углеобогатительные фабрики, тепловые электрические станции и др.
3	Органические со специфическими свойствами	Отравляют водные организмы, ухудшают качество воды, создают дефицит кислорода	Химические и нефтехимические производства, тепловые электрические станции и др..
4	Органические без специфических токсических свойств	Создают дефицит кислорода	Пищевая промышленность, тепловые электрические станции и др..

Процессы самоочищения зависят от температуры воды, состава примесей, концентрации кислорода, рН воды, концентрации вредных примесей, препятствующих или затрудняющих протекание процессов самоочищения водоёмов.

Особенно значим в процессах самоочищения кислородный режим водоёмов. Расход кислорода на минерализацию органических веществ

определяется через биохимическое потребление кислорода (БПК), которое выражается количеством O_2 , использованного в биохимических (при помощи бактерий) процессах окисления органических веществ за определённое время инкубации пробы ($mgO_2/сутки$). Пользуются или пятисуточной (БПК₅) или полной (БПК_п) биохимической потребностью кислорода. При большом сбросе органических веществ наступает дефицит кислорода, дестабилизируется биоценоз, развивается анаэробная (бескислородная) минерализация органических веществ, что вызывает значительное ухудшение качества воды.

Заметим, что, таким образом, нарушение и даже разрушение биоценоза в водоёме возможно при значительном сбросе в него органических веществ, совершенно не относящихся к вредным веществам. Столь же тяжёлые экологические последствия наступают в водоёме при сбросе в него других веществ, не относящихся к вредным или ядовитым – биогенов, то есть веществ, необходимых для существования живых организмов: соединения (соли) фосфата, азота, калия, кальция, серы, магния. Биогены во всё увеличивающихся объёмах поступают в гидросферу из всех вышеназванных источников, особенно – из стоков сельского хозяйства и коммунальных стоков. Попадая в водоёмы и водостоки, которые в естественном состоянии олиготрофны, то есть, бедны биогенами, биогены вызывают бурный рост фитопланктона – множества видов водорослей, представляющих собой отдельные клетки, их скопления или «нити», которые держатся вблизи поверхности (на поверхности) воды, не связаны с дном и получают биогены из воды. Вместе с частицами почвы, выносимыми в водоёмы из-за эрозии почв, фитопланктон препятствует прохождению солнечного света в толщу воды, вследствие чего нарушаются процессы фотосинтеза водных растений, погружённых в воду (бентоса) и укоренённых в дне водоёма, откуда они получают биогены. В результате резко уменьшается поступление кислорода, производимого бентосными растениями при фотосинтезе. Кислород, выделяемый фитопланктоном при фотосинтезе, пересыщает верхний слой воды и улетучивается с её поверхности. У фитопланктона короткий жизненный цикл, он быстро отмирает, что ведёт к накоплению большой массы отмершего фитопланктона – детрита. Питаясь детритом, редуценты, в основном, бактерии, потребляют кислород, уменьшая его содержание в воде. В результате бентосные растения вытесняются фитопланктоном, рыбы, и другие обитатели водоёмов задыхаются и гибнут. Эти процессы, усиливающиеся во всём мире, получили название эвтрофикации. Свою лепту в эвтрофикацию вносят и взвешенные частицы, попадающие в водоём в результате эрозии почв. Вещество этих частиц не отнесено к разряду химически вредных. Но они уменьшают

прохождение света в толщу воды, засоряют жабры и пищедобывающие органы, обволакивают икринки рыб и других водных организмов. Эвтрофикация сопровождается наносами, изменяющими донный ландшафт водоёмов, что ухудшает условия обитания рыб и моллюсков. Водоёмы мелеют, возникает необходимость их постоянной очистки и проблема размещения извлечённого со дна материала. Ущерб от наносов обходится, например, для США в 6-7 млрд. долларов [19].

Бытовые и сельскохозяйственные стоки вызывают не только эвтрофикацию и обеднение воды кислородом, но и создают угрозу инфекционных заболеваний. Люди и животные, заражённые болезнетворными бактериями, вирусами и другими паразитами, могут выделять в стоки большое количество таких патогенов или их яиц. Именно по этой причине в 19 и даже в 20 веках случались опустошительные эпидемии холеры, брюшного тифа – до тех пор, пока во всём мире не были приняты санитарно-гигиенические правила, предотвращающие распространение патогенов. Это, прежде всего, дезинфекция запасов воды для населения хлорированием или другими методами.

Действие ядовитых (токсичных) соединений на гидробионты проявляется в зависимости от их концентрации. При больших концентрациях наступает гибель гидробионтов, при меньших – изменяются обмен веществ, темп развития, мутагенез, потеря способности к размножению и др. Заметим, что особенно чувствительны к вредным веществам гидробионты, находящиеся на начальных стадиях своего развития: икринки и т.п. Так, при водородном показателе $pH = 5,7$ и менее из икринок перестают выводиться молодь лососевых, форели, плотвы, хотя взрослые особи этих рыб могут существовать в подобных водах ещё длительное время. Наиболее благоприятные (для гидробионтов) значения $pH = 6,5 - 8,5$. Отдельные популяции, например, зоопланктон, чрезвычайно чувствительны к вредным веществам. Уже небольшие концентрации вредных веществ вызывают их гибель, и это влияет на биоценоз в целом.

Особую опасность для гидросферы несут ядохимикаты, загрязняющие как грунтовые воды, так и водоёмы. Наиболее распространены ядохимикаты на основе соединений тяжёлых металлов (свинец, олово, мышьяк, кадмий, ртуть, хром, медь, цинк) и синтетических органических соединений. Ионы тяжёлых металлов, попадая в организм, подавляют активность ряда ферментов, что приводит к крайне тяжёлым физиологическим и неврологическим последствиям, например, умственная отсталость при свинцовом отравлении, психические аномалии и врождённые уродства при ртутных отравлениях. Синтетические органические соединения, прежде всего, галогенированные и, в частности, хлорированные углеводороды (используются для производства пластмасс,

синтетических волокон, искусственного каучука, лакокрасочных покрытий, растворителей, пестицидов и т.д.), попадая в организм, нарушают его функционирование. Даже небольшие дозы приводят к крайне тяжёлым эффектам, например, канцерогенному (развитие рака), мутагенному (появление мутаций) и тератогенному (врождённые дефекты у детей). При определённых дозах возможны острое отравление и смерть. Ядохимикаты особенно опасны в связи с их способностью накапливаться в организмах (биоаккумуляция) и с возможностью биоконцентрирования. В последнем случае животные последующих трофических уровней, питаясь организмами, накопившими ядохимикат, получают исходно более высокие концентрации. В результате на вершине данной пищевой цепи концентрация химиката в организме может стать в 10^5 раз выше, чем во внешней водной среде [19]. Классический пример биоаккумуляции и биоконцентрации, известный как болезнь Минаматы, произошёл в 1950-х г.г. в рыбацком посёлке Минамата в Японии. Химическое предприятие, расположенное неподалёку, сбрасывало содержавшие ртуть отходы в реку, впадавшую в залив, где рыбачили жители Минаматы. Ртуть сначала поглощали бактерии и другие редуценты, разлагавшие детрит, затем она концентрировалась в пищевой цепи, попадая через рыб к людям. До сих пор о трагедии напоминают уродливые тела и умственная отсталость части жителей Минаматы [19].

7.5. Нормирование и регулирование качества воды в водоёмах

Охрана водоёмов от загрязнений осуществляется в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (1988). Правила включают в себя общие требования к водопользователям в части сброса сточных вод в водоёмы. Правилами установлены две категории водоёмов: 1 – водоёмы питьевого и культурно-бытового назначения; 2 – водоёмы рыбохозяйственного назначения. Состав и свойства воды водных объектов первого типа должны соответствовать нормам в створах, расположенных в водотоках на расстоянии не менее одного километра выше ближайшего по течению пункта водопользования, а в непроточных водоёмах – в радиусе не менее одного километра от пункта водопользования. Состав и свойства воды в водоёмах II типа должны соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (при наличии течений), а при отсутствии рассеивающего выпуска – не далее чем в 500 м от места выпуска.

Правилами установлены нормируемые значения для следующих параметров воды водоёмов: содержание плавающих примесей и взвешенных частиц, запах, привкус, окраска и температура воды, значение

pH, состав и концентрация минеральных примесей и растворённого в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде, состав и предельно допустимая концентрация (ПДК) ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий. Под предельно допустимой концентрацией понимается концентрация вредного (ядовитого) вещества в воде водоёма, которая при ежедневном воздействии в течение длительного времени на организм человека не вызывает каких-либо патологических изменений и заболеваний, в том числе у последующих поколений, обнаруживаемых современными методами исследований и диагностики, а также не нарушает биологического оптимума в водоёме.

Вредные и ядовитые вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие данного вещества. Для водоёмов первого типа используют три типа ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический, для водоёмов второго типа – ещё два вида: токсикологический и рыбохозяйственный.

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i^m} \leq 1. \quad (7.1)$$

Санитарное состояние водоёма отвечает требованиям норм при выполнении неравенства для каждой из трёх (для водоёмов второго типа – для каждой из пяти) групп вредных веществ, ПДК которых установлены соответственно по санитарно-токсикологическому ЛПВ, общесанитарному ЛПВ, органо-лептическому ЛПВ, а для рыбохозяйственных водоёмов – ещё и по токсикологическому ЛПВ и рыбохозяйственному ЛПВ. Здесь n – число вредных веществ в водоёме, относящихся, положим, к «санитарно-токсикологической» группе вредных веществ, C_i – концентрация i -го вещества из данной группы вредных веществ; m – номер группы вредных веществ, например, $m = 1$ – для «санитарно-токсикологической» группы вредных веществ, $m = 2$ – для «общесанитарной» группы вредных веществ и т.д. – всего пять групп. При этом должны учитываться фоновые концентрации C_ϕ вредных веществ, содержащихся в воде водоёма до сброса сточных вод. При преобладании одного вредного вещества с концентрацией C в группе вредных веществ данного ЛПВ должно выполняться требование

$$C + C_\phi \leq \text{ПДК}, \quad (7.2)$$

Использование соотношения (7.1) основано на допущении применимости принципа аддитивности вредностей разных веществ, относящихся, например, к четвёртой, «токсикологической» группе вредных веществ. То есть допускается, что интегральная «вредность» многокомпонентной системы вредных веществ может быть определена как арифметическая

сумма «вредностей» отдельных компонент. Между тем известно явление синергизма, когда два или более вредных (ядовитых) веществ могут дать эффект вредного действия на организм, во много раз превосходящий Сумму действия каждого из них. Так недавно установлено, что галогенированные углеводороды и, возможно, другие химикаты (первый фактор) ослабляют иммунную систему, в результате чего организм становится более подверженным действию инфекций и паразитов (второй фактор). Есть предположение, что именно это обстоятельство стало причиной катастрофического вымирания тюленей в Северном море в 70^x – 80^x годах [19]. Однако количественно эффект синергизма изучен ещё недостаточно, поэтому сегодня допускается использование принципа аддитивности вредных компонент, относящихся к какому-либо ЛПВ.

Установлены ПДК для более 400 вредных основных веществ в водоёмах питьевого и культурно-бытового назначения, а также более 100 вредных основных веществ в водоёмах рыбохозяйственного назначения. В табл. 7.4 приведены ПДК некоторых веществ в воде водоёмов.

Для самих сточных вод ПДК не нормируются, а определяются предельно допустимые количества сброса вредных примесей, ПДС. Поэтому минимально необходимая степень очистки сточных вод перед сбросом их в водоём определяется состоянием водоёма, а именно - фоновыми концентрациями вредных веществ в водоёме, расходом воды водоёма и др., то есть способностью водоёма к разбавлению вредных примесей.

Таблица 7.4.

Предельно допустимые концентрации
некоторых вредных веществ в водоёмах

Вещество	Водоёмы I категории		Водоёмы II категории	
	ЛПВ	ПДК, г/м ³	ЛПВ	ПДК, г/м ³
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5	Токсикологический	0,5
Фенолы	Органо-лептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	То же	0,1	То же	0,05
Cd ²⁺	Санитарно-токсикологический	0,01	Токсикологический	0,005
Cu ²⁺	Органо-лептический	1	То же	0,01
Zn ²⁺	Общесанитарный	1	- « -	-,01
Цианиды	Санитарно-токсикологический	0,1	- « -	0,05
Cr ⁶⁺	Органо-лептический	0,1	-	0

Запрещено сбрасывать в водоёмы сточные воды, если существует возможность использовать более рациональную технологию, безводные процессы и системы повторного и оборотного водоснабжения – повторное или постоянное (многократное) использование одной и той же воды в технологическом процессе; если стоки содержат ценные отходы, которые возможно утилизировать; если стоки содержат сырьё, реагенты и продукцию производства в количествах, превышающих технологические потери; если сточные воды содержат вещества, для которых не установлены ПДК.

Режим сброса может быть единовременным, периодическим, непрерывным с переменным расходом, случайным. При этом необходимо учитывать, что расход воды в водоёме (дебит реки) изменяется и по сезонам, и по годам. В любом случае должны удовлетворяться требования условия (7.2).

Большое значение имеет метод сброса сточных вод. При сосредоточенных выпусках смешение стоков с водой водоёма минимально, и загрязнённая струя может иметь большое протяжение в водоёме. Наиболее эффективно применение рассеивающих выпусков в глубине (на дне) водоёма в виде перфорированных труб.

В соответствии с изложенным одной из задач регулирования качества вод в водоёмах является задача определения допустимого состава сточных вод, то есть того максимального содержания вредного вещества (веществ) в стоках, которое после сброса ещё не даст превышения концентрации вредного вещества в водах водоёма над ПДК данного вредного вещества.

Уравнение баланса растворённой примеси при сбросе её в водоток (реку) с учётом начального разбавления в створе выпуска, [61]:

$$C_{cm} = [n_{p.c.} (C_{p.c.} - C_{\phi}) + C_{\phi}], \quad (7.3)$$

Здесь C_{cm} , $C_{p.c.}$, C_{ϕ} – концентрации примеси в сточных водах до выпуска в водоём, в расчётном створе и фоновая концентрация примеси, мг/кг; n_0 и $n_{p.c.}$ – кратность разбавления сточных вод в створе выпуска (начальное разбавление) и в расчётном створе.

Начальное разбавление сточных вод в створе их выпуска

$$n_0 = \frac{Q_0 + q}{q}, \quad (7.4)$$

где $Q_0 = LH \cdot v$ – часть расхода водостока, протекающая над рассеивающим выпуском, имеющим, положим, вид перфорированной трубы, уложенной на дно, м³/с; q – расход сточных вод, м³/с; L – длина рассеивающего выпуска (перфорированной трубы), м; H , v – средняя глубина и скорость потока над выпуском, м и м/с.

После подстановки (7.4) в (7.3)

$$C_{cm} = \frac{LH \cdot v + q}{q} \cdot [n_{p.c.} (C_{p.c.} - C_{\phi}) + C_{\phi}], \quad (7.5)$$

При $LH \cdot v \gg q$

$$C_{cm} = \frac{LH \cdot v}{q} \cdot [n_{p.c.} (C_{p.c.} - C_{\phi}) + C_{\phi}], \quad (7.6)$$

По ходу водостока струя сточной воды расширяется (за счёт диффузии, турбулентной и молекулярной), вследствие чего в струе происходит перемешивание сточной воды с водой водотока, возрастание кратности разбавления вредной примеси и постоянное уменьшение её концентрации в струе сточной, точнее, теперь уже перемешенной воды. В конечном счете, створ (сечение) струи расширится до створа водотока. В этом месте водотока (где створ загрязнённой струи совпал со створом водотока) достигается максимально возможное для данного водотока разбавление вредной примеси. В зависимости от величин кратности начального разбавления, ширины, скорости, извилистости и других характеристик водотока концентрация вредной примеси ($C_{p.c.}$) может достигнуть значения её ПДК в разных створах загрязнённой струи. Чем раньше это произойдёт, тем меньший участок (объём) водотока будет загрязнён вредной примесью выше нормы (выше ПДК). Понятно, что самый подходящий вариант – когда условие (7.2) обеспечивается уже в самом месте выпуска, и, таким образом, размеры загрязнённого участка водотока будут сведены к нулю. Напомним, что этот вариант соответствует условию выпуска стоков в водоток второго типа. Нормативное разбавление до ПДК в створе выпуска требуется и для водотоков первого типа, если выпуск осуществляется в черте населённого пункта. Этот вариант можно обеспечить, увеличивая длину перфорированной трубы выпуска. В пределе, перегородив весь водосток трубой выпуска и включив таким образом в процесс разбавления стоков весь расход водотока, учитывая, что для створа выпуска $n_{p.c.} = 1$, а также положив в (7.5) $C_{p.c.} = \text{ПДК}$, получим

$$C_{cm} = \frac{BHV + q}{q} \cdot \text{ПДК} = \frac{Q + q}{q} \cdot \text{ПДК}, \quad (7.7)$$

где B и H – эффективные ширина и глубина водотока, $Q = BHV$ – расход воды водотока.

Уравнение (7.7) означает, что при максимальном использовании разбавительной способности водотока (расхода водотока) максимально возможную концентрацию вредного вещества в сбрасываемых сточных водах можно допустить равной $\frac{Q + q}{q} \cdot \text{ПДК} \cong \frac{Q}{q} \cdot \text{ПДК}$. Если для целей

разбавления стоков возможно использование только части расхода воды водотока, например, $0,2Q$, то требования к очистке стоков от данного

вредного вещества повышаются, так как максимально допустимая концентрация вредности в стоках уменьшается при этом в 5 раз: $\frac{0,2Q}{q} \cdot \text{ПДК}$. При этом величина $qC_{\text{см}}$, равная в первом случае $q \cdot \frac{Q}{q} \cdot \text{ПДК} = Q \cdot \text{ПДК}$, а во втором $q \cdot \frac{0,2Q}{q} \cdot \text{ПДК} = 0,2Q \cdot \text{ПДК}$, должна рассматриваться как предельно допустимый сброс (ПДС) данной вредности в водоток, г/с. При превышении данных величин ПДС ($Q \cdot \text{ПДК}$ и $0,2Q \cdot \text{ПДК}$, г/с) концентрация вредного вещества в водах водотока превысит ПДК. В первом случае (ПДС = $Q \cdot \text{ПДК}$) турбулентная (и молекулярная) диффузия уже не уменьшит концентрацию вредности по ходу водотока, так как створ начального разбавления совпадает со створом всего водотока – струе загрязнённой воды некуда диффундировать. Во втором случае по ходу водотока будут иметь место разбавление стоков и уменьшение концентрации вредности в воде водоёма, и на некотором расстоянии S от выпуска концентрация вредного вещества может уменьшиться до ПДК и ниже. Но и в этом случае определённый участок водотока окажется загрязнённым выше нормы, то есть выше ПДК.

В общем случае расстояние S от створа выпуска до расчётного створа, то есть до створа с заданной величиной кратности разбавления, $n_{\text{р.с.}}$, или – что фактически тоже – с заданной концентрацией вредной примеси, например, равной её ПДК,

$$S = \frac{A \cdot x \cdot (B - L)}{\varphi \cdot H} \cdot \lg \text{Re}_d \lg n_{\text{р.с.}}, \quad (7.8)$$

где $A = 0,9 - 2,0$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от категории русла и среднегодового расхода воды водотока; B – ширина водотока, м; x – ширина части русла, в которой не производится выпуск (труба не перекрывает всю ширину русла), м; φ – коэффициент извилистости русла: отношение расстояния между створами по фарватеру к расстоянию по прямой; $\text{Re}_d = v H / D$ – диффузионный критерий Рейнольдса.

Расширение загрязнённой струи по ходу водотока происходит, в основном, за счёт турбулентной диффузии, её коэффициент

$$D = \frac{v \cdot g \cdot H}{2mC}, \quad (7.9)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$; $2m = 0,7C - 6$; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$.

После потенцирования (7.8) получается значение $n_{\text{р.с.}}$ в явном виде

$$n_{\text{р.с.}} = 10^{\frac{S \cdot \varphi \cdot H}{A \cdot x \cdot (B - L) \cdot \lg \text{Re}_d}}, \quad (7.10)$$

Подставив выражение для $n_{p.c.}$ в (7.6) и полагая $C_{p.c.} = \text{ПДК}$, получаем

$$C_{cm} = \frac{LVH}{q} \cdot [10^{\frac{S \cdot \varphi H}{A \cdot x \cdot (B-L) \cdot \lg Re_d}} (\text{ПДК} - C_\phi) + C_\phi]. \quad (7.11)$$

Уравнение (7.11) означает: если при начальном разбавлении, определяемом величинами L , H , V , и при известных характеристиках водотока φ , A , B , x , Re_d , C_ϕ необходимо, чтобы на расстоянии S от выпуска стоков концентрация вредного вещества была на уровне ПДК и меньше, то концентрация вредного вещества в стоках перед сбросом не должна быть больше величины (C_{cm}), вычисляемой по (7.11). Перемножив обе части (7.11) на величину q , приходим к тому же условию, но уже через предельно-допустимый сброс $C_{cm} \cdot q = \text{ПДС}$

$$\text{ПДС} = LVH \cdot [10^{\frac{S \cdot \varphi H}{A \cdot x \cdot (B-L) \cdot \lg Re_d}} (\text{ПДК} - C_\phi) + C_\phi], \quad (7.12)$$

Из общего решения (7.12) следует тот же результат, который получен выше на основе простых соображений. В самом деле, положим, что решается задача: каким может быть максимальный (предельно допустимый) сброс сточной воды в водоток, чтобы уже в месте выпуска ($S = 0$) концентрация вредного вещества была равна ПДК, а для начального разбавления используется только пятая часть расхода водотока (дебита реки), то есть $L H V = 0,2 Q$.

Поскольку при $S = 0$ $n_{p.c.} = 1$, из (7.12) получаем

$$\text{ПДС} = 0,2 \cdot \text{ПДК}$$

На изложенных принципах, в целом, основывается регулирование качества воды в водотоках при сбросе в них взвешенных, органических веществ, а так же вод, нагретых в системах охлаждения предприятий [59, 61, 63].

Условия смешения сточных вод с водой озёр и водохранилищ значительно отличаются от условий их смешения в водотоках – реках и каналах. В частности, полное перемешивание стоков и вод водоёма достигается на существенно больших расстояниях от места выпуска, чем в водотоках. Методы расчёта разбавления стоков в водохранилищах и озёрах приведены в [64].

7.6. Методы и приборы контроля качества воды в водоёмах [63]

Контроль качества воды водоёмов осуществляется периодическим отбором и анализом проб воды из поверхностных водоёмов: не реже одного раза в месяц. Количество проб и места их отбора определяют в соответствии с гидрологическими и санитарными характеристиками водоёма. При этом обязателен отбор проб непосредственно в месте

водозабора и на расстоянии 1 км выше по течению для рек и каналов; для озёр и водохранилищ – на расстоянии 1 км от водозабора в двух диаметрально расположенных точках. Наряду с анализом проб воды в лабораториях используют автоматические станции контроля качества воды, которые могут одновременно измерять до 10 и более показателей качества воды. Так, отечественные передвижные автоматические станции контроля качества воды измеряют концентрацию растворённого в воде кислорода (до 0,025 кг/м³), электропроводность воды (от 10⁻⁴ до 10⁻² Ом/см), водородный показатель рН (от 4 до 10), температуру (от 0 до 40°С), уровень воды (от 0 до 12м). Содержание взвешенных веществ (от 0 до 2 кг/м³). В табл. 7.5 приведены качественные характеристики некоторых отечественных типовых систем для контроля качества поверхностных и сточных вод.

На очистных сооружениях предприятий осуществляют контроль состава исходных и очищенных сточных вод, а также контроль эффективности работы очистных сооружений, контроль, как правило, осуществляется один раз в 10 дней.

Пробы сточной воды отбираются в чистую посуду из боросиликатного стекла или полиэтилена. Анализ проводится не позже чем через 12 часов после отбора пробы. Для сточных вод измеряются органолептические показатели, рН, содержание взвешенных веществ, химическое потребление кислорода (ХПК), количество растворённого в воде кислорода, биохимическое потребление кислорода (БПК), концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК.

Таблица 7.5

Качественные характеристики некоторых отечественных типовых систем для контроля качества поверхностных и сточных вод

Система (лаборатория, комплекс)	Область применения
1. Гидрохимическая лаборатория ГХЛ – 66	Физико-химический анализ состава и свойств природных и сточных вод.
2. Лаборатория анализа воды ЛАВ – 1	Определение качества питьевой воды, воды водоёмов, состава сточных вод и содержания в них примесей.
3. Комплекс технических средств автоматизированной системы контроля загрязнения поверхностных вод типа АНКОС – ВГ.	Автоматическое определение и запись физико-химических параметров поверхностных вод, в их числе концентрации Cl ₂ , F ₂ , Cu, Ca, Na, фосфатов, нитридов.

Контролируются два органолептических показателя воды при анализе сточных вод: запах и цвет, который устанавливается измерением оптической плотности пробы на спектрофотометре на различных длинах волн проходящего света.

Величина рН в сточных водах определяется электрометрическим способом. Он основан на том, что при измерении рН в жидкости на единицу потенциал стеклянного электрода, опущенного в жидкость, изменяется на постоянную для данной температуры величину (например, на 59,1 мВ при температуре 298° К, на 58,1 мВ при 293° К и т.д.). Отечественные марки рН-метров: КП-5, МТ-58, ЛПУ-01 и др.

При определении грубодисперсных примесей в стоках измеряется массовая концентрация механических примесей и фракционный состав частиц. Для этого применяют специальные фильтроэлементы и измерение массы «сухого» осадка. Также периодически определяются скорости всплывания (осаждения) механических примесей, что актуально при отладке очистных сооружений.

Величина ХПК характеризует содержание в воде восстановителей, реагирующих с сильными окислителями, и выражается количеством кислорода, необходимым для окисления всех содержащихся в воде восстановителей. Окисление пробы сточной воды производится раствором бихромата калия в серной кислоте. Собственно измерение ХПК осуществляется либо арбитражными методами, производимыми с большой точностью за длительный период времени, и ускоренными методами применяемыми для ежедневных анализов с целью контроля работы очистных сооружений или состояния воды в водоёме при стабильных расходе и составе вод.

Концентрацию растворённого кислорода измеряют после очистки сточных вод перед их сбросом в водоём. Это необходимо для оценки коррозионных свойств стоков и для определения БПК. Чаще всего используется йодометрический метод Винклера для обнаружения растворённого кислорода с концентрациями больше 0,0002 кг/м³, меньшие концентрации измеряются колориметрическими методами, основанными на изменении интенсивности цвета соединений, образовавшихся в результате реакции между специальными красителями и сточной водой. Для автоматического измерения концентрации растворённого кислорода используют приборы ЭГ – 152 – 003 с пределами измерений 0 ... 0,1 кг/м³, «Оксиметр» с пределами измерения 0 ... 0,01 и 0,01 ... 0,02 кг/м³.

БПК – количество кислорода (в миллиграммах), необходимое для окисления в аэробных условиях в результате происходящих в воде биологических процессов органических веществ, содержащихся в 1л сточной воды, определяется по результатам анализа изменения количества

растворённого кислорода с течением времени при 20°C. Чаще всего используют пятисуточное биохимическое потребление кислорода – БПК₅.

Измерение концентрации вредных веществ, для которых установлены ПДК, проводят на различных ступенях очистки, в том числе перед выпуском воды в водоём.

7.7. Очистка сточных вод

7.7.1. Классификация методов очистки сточных вод

Очистка сточных вод – лишь одно из направлений защиты гидросферы, прежде всего, поверхностных вод от антропогенных загрязнений. Главный путь защиты гидросферы, так же, как и атмосферы и литосферы – поиск технологий, исключающих образование значимых количеств вредных твёрдых и жидких отходов, вредных примесей в сточных водах и отходящих (в атмосферу) газов, что входит составной частью в главное направление деятельности сегодняшней техносферы – создание безотходных и малоотходных технологий. Такие технологии предполагают [63] комплексную переработку сырья с использованием всех его компонентов на базе безотходных процессов, создание продукции с учётом требований её повторного использования, переработку отходов производства и потребления с получением товарной продукции или любое полезное их использование без нарушения экологического равновесия, использование замкнутых систем промышленного водоснабжения и др. Число таких технологий непрерывно возрастает. Так, для угольных тепловых станций (ТЭС) разработаны "сухие", без использования воды, системы золошлакоудаления, что полностью исключает проблему очистки стоков из систем гидрозолоудаления современных угольных ТЭС [65]. Разработаны и успешно реализуются бессточные системы водоподготовки на ТЭС [65]. В машиностроении английская фирма «Бут» внедрила новую технологию производства литейных форм: увлажнённый песок формируется, затем быстро замораживается жидким азотом. Отказ от традиционных формовочных смесей привёл к резкому уменьшению пылеобразования в литейном цехе и затрат на очистку вентиляционных выбросов [63].

Можно подумать, что разработка и совершенствование принципов, методов и средств очистки сточных вод от вредных примесей – временное явление, которое прекратится с разработкой безотходных и малоотходных технологий. Это справедливо лишь отчасти.

В большом числе случаев принципы, методы, средства очистки сточных вод (равно как и отходящих газов) могут быть использованы в новых технологиях, так что прогресс в области средств очистки

способствует созданию малоотходных и безотходных технологий.

Методы очистки сточных вод весьма разнообразны и предопределяются физико-механическими, физическими, химическими и микробиологическими (биологическими) характеристиками содержащихся в них примесей. Существует несколько видов классификации методов очистки. Наиболее распространена следующая классификация.

1. Методы механической очистки (от взвешенных – в виде суспензий и эмульсий – веществ).
2. Физико-химические методы очистки (от коллоидно-дисперсных и истинно растворенных примесей).
3. Химические методы очистки (от истинно растворенных примесей).
4. Биологические методы очистки (от органических веществ).

Как правило, системы очистки сточных вод строятся на основе использования комплекса методов очистки. Состав методов определяется характером технологических процессов данного производства.

Эффективность и надёжность работы любого очистного устройства обеспечиваются в определённом диапазоне значений концентрации примесей и расхода сточной воды.

Во временном графике технологических процессов могут быть значительные изменения, сопровождаемые изменением расхода сточных вод, состава и концентрации примесей. В таких случаях необходимо усреднение концентрации примесей и расхода сточной воды. С этой целью на входе в очистные сооружения устанавливают усреднители, выбор и расчёт которых определяется характером изменения во времени расхода стоков, состава и концентрации примесей.

В самом общем виде последовательность этапов очистки стоков можно представить следующим образом.

1. Усреднение стоков. Оно может осуществляться не только на самом начальном этапе – при очистке от грубодисперсных примесей, но и на всех последующих этапах – там, где имеется неравномерность состава и расхода стоков и где целесообразно слияние близких по составу стоков (с разных участков производства) перед очередным этапом очистки.
2. Очистка от грубодисперсных веществ: решётки, песколовки, отстойники, аппараты, основанные на отделении твёрдых примесей в поле действия инерционных сил (напорные гидроциклоны, центрифуги), флотация.
3. Очистка от коллоидно-дисперсных примесей (коагуляция, электрокоагуляция).
4. Регулирование кислотности (щёлочности) стоков, например, с помощью известкования (нейтрализация).

5. Фильтрация на зернистых насыпных, например, песчано-гравийных фильтрах – для очистки от тонкодисперсных примесей (частиц), имевшихся в исходных стоках или образовавшихся на предыдущих этапах очистки.

Совокупность предыдущих этапов очистки стоков в отечественной специальной литературе часто называют предочисткой. Она важна и сама по себе, и для осуществления последующих этапов очистки (если они необходимы) – от истинно растворенных примесей в виде отдельных ионов, молекул или комплексов молекул. Аппаратные средства для их удаления чрезвычайно чувствительны к водным гетерогенным системам и быстро выходят из строя при появлении в стоках эмульсий, суспензий, коллоидных примесей.

6. Очистка стоков от молекулярных примесей, например, путём дегазации, адсорбции, экстракции.
7. Очистка от вредных веществ, находящихся в стоках в ионном состоянии: перевод ионов в малодиссоциирующие соединения; нейтрализация; окисление; образование комплексных ионов и перевод их в малорастворимое состояние; ионитная фильтрация (ионный обмен); сепарация ионов при изменении фазового состояния воды например, дистилляция; ультрафильтрация; электродиализ; воздействие магнитных и акустических полей и др.
8. На заключительном этапе очистки может быть предусмотрено повторное фильтрование – для очистки стоков от дисперсных примесей, образовавшихся на этапах очистки от истинно растворенных примесей, а также обезвреживание (дезинфекция) очищенных стоков от патогенных организмов (микроорганизмов), особенно в тех случаях, когда в системе очистки стоков производства имеются устройства биологической очистки, могущие быть очагом распространения патогенных микроорганизмов.
9. Биологическая очистка применяется для очистки стоков от органических примесей: сточные воды пропускаются через устройства (аэротенки, например), насыщенные мощными колониями специально подобранных микроорганизмов, которые извлекают органические вещества из стоков для питания и, таким образом, минерализуют органические примеси. Для интенсификации процессов стоки обогащаются кислородом (окситенки). Минерализация органических примесей могла бы произойти естественным образом в самом водоёме. Но это привело бы к резкому уменьшению содержания кислорода в воде и к дестабилизации (гибели) экосистемы водоёма. С помощью устройств и сооружений биологической очистки процесс минерализации выносится, таким образом, за пределы водоёма.

7.7.2. Основы процессов и принципы механической очистки стоков [61]

Механическая очистка сточных вод – технологический процесс очистки сточных вод механическими и физическими методами [71]. Она применяется с целью выделения из стоков грубодисперсных минеральных и органических загрязнителей и в большинстве случаев является предварительным этапом перед последующими, более тонкими методами очистки. Очистка сточных вод от твёрдых частиц грубодисперсных веществ в зависимости от их свойств, концентрации, фракционного состава осуществляется методами процеживания, отстаивания, отделения в поле инерционных сил и фильтрования.

7.7.1.1. Процеживание – первичная очистка посредством пропуска стоков через решётки и волокнуловители – для выделения крупных примесей размером 25 мм и более, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе оборудования. Металлические решётки с зазором 5-25 мм устанавливаются в коллекторах сточных вод, размеры поперечного сечения решёток выбираются по минимуму потерь давления потока на решётке. Скорость потока в зазоре между стержнями не должна превышать 0,8-1 м/с при максимальном расходе сточных вод. Расчёт решёток сводится к определению числа зазоров n , ширины решётки B и потерь напора Δp сточной воды [61].

Решётки периодически очищаются от задерживаемых примесей механически с помощью вертикальных и поворотных граблей, примеси измельчают на специальных дробилках и направляют в поток за решётку или на переработку, что усложняет технологию очистки. Поэтому применяют решётки-дробилки, измельчающие примеси без извлечения их из воды. Средний размер измельчения не превышает 10 мм.

7.7.1.2. Отстаивание основано на особенностях процесса осаждения твёрдых частиц в жидкости. Осаждение может быть свободным, без слипания частиц, и при параллельно протекающем коагулировании осаждающихся частиц. Механизм свободного осаждения сохраняется при объёмной концентрации частиц до 1 % (до массовой концентрации $\sim 2,6$ кг/м³).

Скорость осаждения – основа для проектирования устройств отстаивания – определена для сферических частиц с учётом сил гидравлического сопротивления, массовых сил и силы Архимеда

$$\omega_o = \frac{g \cdot d_{\text{ч}}^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho)}{18\mu}, \quad (7.13)$$

где μ , ρ - вязкость и плотность воды, g – ускорение свободного падения, $d_{ч}$, $\rho_{ч}$ – диаметр и плотность вещества частиц.

Для $d_{ч} > 1$ мм при нарушении ламинарного движения осаждения

$$\omega_o = K \cdot \sqrt{g \cdot d_{ч} \cdot \frac{\rho_{ч} - \rho}{\mu}}, \quad (7.14)$$

где K – коэффициент формы частиц, $K = 1,2 - 2,3$ [66].

На основе принципа отстаивания построены песколовки и отстойники.

Существует несколько типов песколовков. В горизонтальной песколовке, рис. 7.2 сточная вода движется горизонтально с оптимальной скоростью $\omega = 0,15 \dots 0,30$ м/с. За время движения в песколовке частица, осаждающаяся со скоростью ω_o , должна достичь дна (шламосборника), поэтому отношение глубины h к ω_o должно быть меньше времени τ движения стоков в песколовке, $\tau = 30 \dots 100$ с, которым определяется и длина песколовки L . Ширина песколовки B определяется максимальным расходом сточных вод (Q), $B = Q/h\omega$.

В вертикальных песколовках сточная вода получает вертикальную (вниз, к шламосборнику) составляющую скорости движения, что облегчает осаждение частиц.

В аэрируемых песколовках крупные частицы осаждаются, как и в горизонтальных песколовках, а мелкие обволакиваются пузырьками воздуха, нагнетаемого в сточную воду, всплывают на поверхность и удаляются с неё с помощью скребковых механизмов.

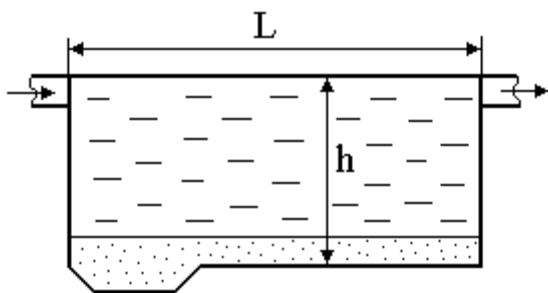


Рис. 7.2 – Схема горизонтальной песколовки

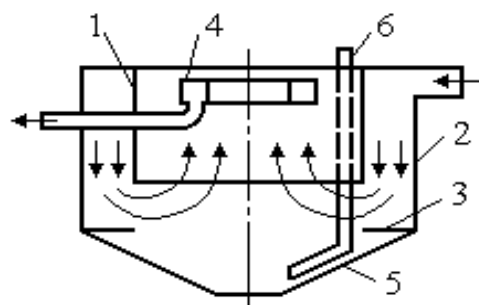


Рис. 7.3. Схема вертикального отстойника

С помощью отстойников из сточных вод выделяются частицы с размером менее 0,25 мм. По направлению движения воды в отстойниках их делят на горизонтальные, вертикальные, радиальные, комбинированные. Особенности отстойников: меньшие по сравнению с песколовками скорости движения стоков – в связи с меньшими значениями ω_o данных частиц – и (или) развитие элементов конструкции, способствующих

увеличению вертикальной составляющей скорости сточной воды по направлению к шламоборнику. На рис. 7.3 приведена схема вертикального отстойника. Сточная вода поступает в кольцевую зону между перегородкой 1 и корпусом 2 и движется вниз. Отразившись от отражательного кольца 3, вода (очищенная) уходит во внутреннюю полость перегородки и через кольцевой водосборник 4 выводится из отстойника, а твёрдые частицы, приобретя скорость движения вниз, (она не должна превосходить скорость оседания частиц) достигают шламоборника 5. Осадок из шламоборника 5 периодически удаляется через трубопровод 6.

7.7.1.3. Отделение твёрдых частиц в поле действия инерционных сил производится в гидроциклонах, открытых и напорных, и центрифугах. Гидроциклоны по принципу действия, а напорные – и по конструкции аналогичны циклонам для очистки газов от твёрдых, см. гл. 6.

7.7.1.4. Фильтрованием обеспечивается очистка сточных вод от тонкодисперсных твёрдых примесей с небольшой концентрацией, в том числе, после физико-химических, химических, биологических методов очистки. Известны два основных класса фильтров: зернистые, представляющие собой однослойные или многослойные насадки пористых несвязанных материалов (кварцевый песок, дроблёный шлак, гравий, антрацит), и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготовлены из связанных пористых материалов.

На рис. 7.4 представлен многослойный зернистый каркасно-насыпной фильтр. Сточная вода поступает по коллектору 1, через отверстия в нём равномерно распределяется по сечению фильтра. Она проходит через слой гравия 2 и песка 3, через перфорированное днище 4, установленное на слое гравия 5 и через трубопровод 6 отводится из фильтра.

Регенерация (очистка) фильтра производится продувкой сжатого газа через трубопровод 7 с последующей обратной промывкой водой через вентиль 8. Скорость фильтрования составляет 0,0014-0,0028 м/с.

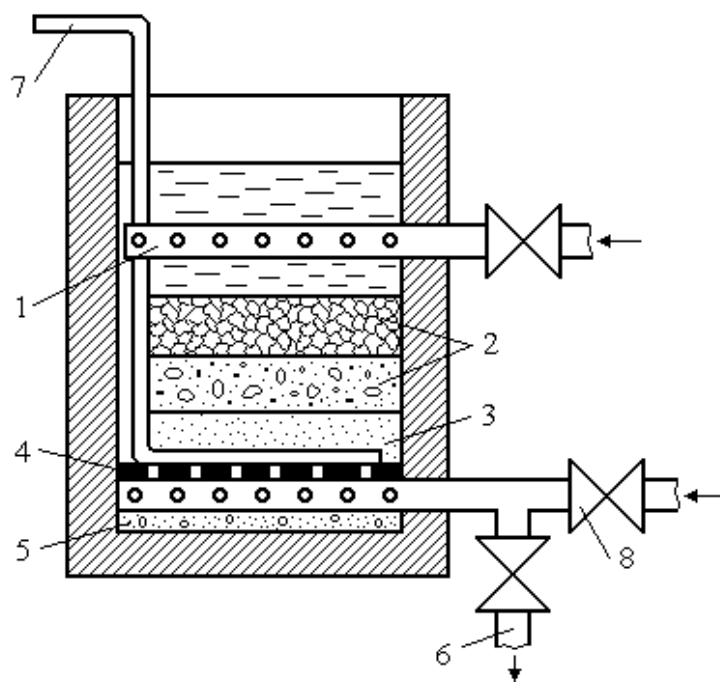


Рис. 7.4. Схема многослойного зернистого каркасно-насыпного фильтра

Известны [63] электромагнитные фильтры для очистки стоков от ферро-магнитных примесей. В них используются pondermоторные силы взаимодействия между намагниченной фильтровальной загрузкой из ферромагнитных частиц и ферромагнитными примесями сточной воды.

7.7.3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов

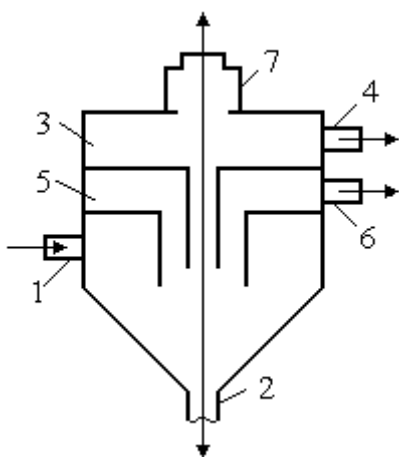
Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов можно отнести к группе методов механической очистки от суспензий и эмульсий. В настоящее время такая очистка производится, в основном, отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией, фильтрованием.

Примеси нефтепродуктов относятся к всплывающим, см. раздел 7.4. Отстаивание основано на закономерностях всплывания примесных частиц нефтепродуктов по тем же законам, по которым происходит осаждение твёрдых частиц. Отстаивание осуществляется в отстойниках и ловушках, при этом, как правило, предусматривается использование отстойников, как для осаждения твёрдых частиц, так и для всплывания нефтепродуктов, расчёт длины отстойника производится по скорости осаждения твёрдых частиц и по скорости всплывания маслопродуктов, принимается наибольшее из двух значений.

Маслоловушки (ловушки примесей нефтепродуктов) по конструкции аналогичны горизонтальным отстойникам, при скорости движения стоков в ловушке 0,003 ... 0,008 м/с сточные воды находятся в ловушке около двух часов, всплывшие на поверхность нефтепродукты удаляются маслосборным устройством.

При концентрированных маслосодержащих стоках применяют обработку сточных вод реагентами, способствующими быстрой коагуляции примесей: Na_2CO_3 , H_2SO_4 , NaCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и др.

Отделение нефтепродуктов в поле действия инерционных сил осуществляется в напорных гидроциклонах. На рис. 7.5 представлена схема напорного гидроциклона, предназначенного для очистки стоков от металлической окалины и масла [63]. Стоки через установленный тангенциально по отношению к корпусу гидроциклона трубопровод 1 поступают в гидроциклон. Твёрдые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона и стекают в шламоборник 2. Сточная вода с примесью нефтепродуктов движется вверх, при этом из-за меньшей плотности нефтепродуктов они концентрируются в ядре закрученного потока, который поступает в приёмную камеру 3 и через трубопровод 4 выводится из гидроциклона для последующей утилизации. Очищенная сточная вода скапливается в камере 5, откуда через трубопровод 6 отводится для дальнейшей очистки. Выход 7 с регулируемым гидравлическим сопротивлением предназначен для



выпуска воздуха, концентрирующегося в ядре закрученного потока очищаемой сточной воды.

Рис. 7.5 – Схема комбинированного напорного гидроциклона

Очистка сточных вод от маслопримесей флотацией заключается в интенсификации процесса всплывания нефтепродуктов при обволакивании их частиц пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду. Образование агрегатов «частица - пузырьки воздуха» зависит от интенсивности их столкновения

друг с другом, химического взаимодействия находящихся в стоках веществ, давления воздуха и т.д.

По способу образования пузырьков различают несколько видов флотации: напорного, пневматическую, пенную, химическую, биологическую, электрофлотацию и др.

При пневматической флотации сточные воды очищаются от нефтепродуктов, поверхностно-активных и органических веществ и от взвешенных частиц малых размеров. Сжатый воздух в виде мельчайших пузырьков поступает в сточную воду через насадки из пористого материала. При всплывании пузырьки воздуха обволакивают частицы нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и мелких твёрдых частиц, увеличивая скорость их всплывания. Образующаяся на поверхности очищаемой воды пена отсасывается центробежным насосом в пеносборник для последующего извлечения из неё нефтепродуктов. Одновременно кислородом, содержащимся в пузырьках воздуха, окисляются органические примеси. Происходит также насыщение очищаемой воды кислородом.

При электрофлотации происходящие в сточной воде электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. При использовании электродов из алюминия или железа происходит коагулирование и осаждение мельчайших коллоидных частиц (электрокоагуляция).

Очистка стоков от примесей нефтепродуктов фильтрованием - необходимый заключительный этап очистки: концентрация нефтепродуктов на выходе отстойников или гидроциклонов достигает 0,01 - 0,2 кг/м³, что значительно превышает ПДК нефтепродуктов в водоёмах (0,0005 кг/м³ – для водоёмов первой категории и 0,00005 кг/м – для водоёмов второй категории). Очень низкого содержания нефтепродуктов в воде требуют и условия многократного использования сточных вод при оборотном водоснабжении предприятий.

Структура аппаратов очистки сточных вод от нефтепродуктов аналогична структуре аппаратов очистки от твёрдых частиц: зернистые насыпные фильтры. Наиболее распространённые фильтроматериалы: кварцевый песок, доломит, керамзит, глауконит, эффективность очистки повышается при добавлении волокнистых материалов (асбест и отходы его производства). В настоящее время в качестве фильтроматериала всё шире применяются частицы пенополиуретана. Главное достоинство фильтров из пенополиуретана – простая регенерация путём механического отжимания нефтепродуктов [63].

7.7.4. Физико-химические методы очистки сточных вод

Физико-химическая очистка – один из наиболее распространённых методов очистки сточных вод. Этот метод применяется самостоятельно или в сочетании с химическими, механическими, биологическими методами. [67-69].

7.7.4.1. Коагуляция, флокуляция и электрокоагуляция

В практике очистки сточных вод метод коагуляции часто применяется после удаления грубодисперсных примесей – для удаления коллоидных частиц. Коагуляция – процесс слипания коллоидных частиц и образования грубодисперсной макрофазы (флокул) с последующим её выделением из воды.

Один из видов коагуляции – флокуляция, при которой мелкие взвешенные частицы под влиянием специально добавляемых веществ (флокулянтов) образуют интенсивно оседающие хлопьевидные образования.

Основной процесс коагуляционной очистки сточных вод – гетерокоагуляция, при которой коллоидные (и мелкодисперсные частицы) взаимодействуют с агрегатами, образующимися при введении в стоки коагулянтов.

Основные коагулянты:

а) соли алюминия: глинозём $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$; алюминат натрия $NaAlO_2$; оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$; полихлорид алюминия $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m \cdot (SO_4)_x$, где $1 \leq n \leq 5$, $m \leq 10$; б) соли железа: железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; хлорид железа $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; в) соли магния: хлорид магния $MgCl_2 \cdot 6H_2O$; сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; г) известь; д) шламовые отходы и отработанные растворы отдельных производств.

Сточные воды смешивают с коагулянтом в специальных устройствах – смесителях в течение 1-3 мин., хлопьеобразование происходит в камере

хлопьеобразования, например, с механическим перемешиванием. Осаждение хлопьев и частиц, образовавшихся в результате коагуляции, производится в отстойниках, этот процесс часто называют осветлением стоков, а соответствующие отстойники – осветлителями [68-70].

Согласно современным представлениям [62] основная масса коллоидных частиц имеет одинаковый отрицательный заряд и потому имеют высокую агрегативную устойчивость. Появление в сточной воде положительных ионов способствует нейтрализации электрических полей отрицательных зарядов коллоидных частиц, и они теряют свою агрегативную устойчивость. В наибольшей степени агрегативную устойчивость частиц понижают ионы Al^{3+} и Fe^{3+} , и это обстоятельство предопределило применение в качестве коагулянтов именно солей железа и алюминия. В последующем практика и теория коагуляции привели к заключению, что в стоки достаточно ввести не соли алюминия или железа, а только ионы Al^{3+} и Fe^{3+} . Это достигается анодным растворением Al или Fe в воде при прохождении через воду электрического тока. Такой процесс коагуляции называется электрокоагуляцией, а соответствующие аппараты – электрокоагуляторами.

7.7.4.2. Сорбция

Сорбция – процесс поглощения вещества (сорбата) из очищаемой среды твёрдым телом или жидкостью (сорбентом). Поглощение вещества массой жидкого сорбента – абсорбция, поверхностным слоем твёрдого сорбента – адсорбция. Если при поглощении происходит химическое взаимодействие сорбента и сорбата, процесс называют хемосорбцией.

При очистке сточных вод в качестве сорбентов применяют искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели, активные глины. Наиболее эффективны активированные угли, пористость которых достигает 75 %, а удельная площадь поверхности – 900 м²/кг. Расход сорбента определяют из соотношения.

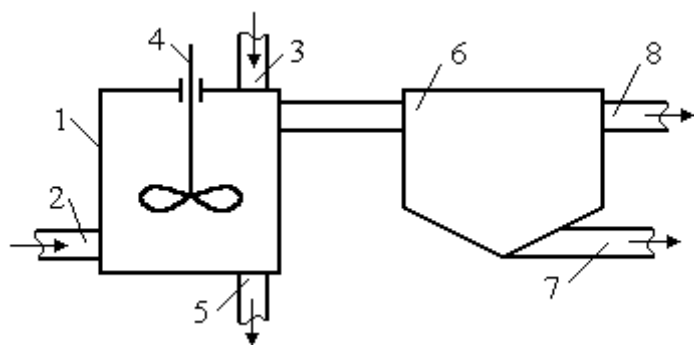
$$m = \frac{Q(C_0 - C_k)}{a}, \quad (7.15)$$

где Q – расход сточной воды, C₀ и C_к – концентрации примесей до и после прохождения стоками сорбционной установки, а – активность сорбента – количество поглощаемого вещества на единицу массы сорбента.

На рис. 7.6 представлена схема сорбционной установки. Сточная вода поступает в адсорбер 1 по трубопроводу 2. По трубопроводу 3 подаётся адсорбент, перемешиваемый со стоками импеллером 4. Адсорбент с поглощёнными примесями оседает на дно адсорбера, откуда удаляется через трубопровод 5. Сточная вода со взвешенными частицами

сорбента поступает в отстойник 6, в котором частицы сорбента оседают на дно и удаляются по трубопроводу 7, а очищенная сточная вода направляется по трубопроводу 8 для последующей обработки.

Обычно сорбционная установка представляет собой несколько параллельно работающих секций, каждая из которых состоит из трёх-пяти



последовательно расположенных фильтров, схема которых представлена на рис. 7.6.

Рис. 7.6. Схема сорбционной установки

Регенерацию сорбентов производят экстрагированием органическими растворителями; отгонкой водяным паром; испарением адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя. Вследствие обратимости процессов сорбции их целесообразно использовать для очистки сточных вод от примесей, которые можно использовать повторно в технологическом процессе.

7.7.4.3. Экстракция

Метод применяется для удаления из стоков примесей, представляющих техническую ценность (фенолы, жирные кислоты), основан на распределении примеси в смеси двух взаимонерастворимых жидкостей (сточной воды и экстрагента) соответственно коэффициенту экстракции (распределения) $K_3 = C_3/C_B$, где C_3 и C_B — концентрации примеси в экстрагенте и в воде при установившемся равновесии. Так, для бутилацетата, который широко используется для удаления из стоков фенола, коэффициент экстракции составляет 8-12. Экстрагент должен иметь следующие свойства: высокий K_3 ; селективность — способность экстрагировать из стоков одно вещество или определённую их группу; малую растворимость в воде; плотность, отличающуюся от плотности воды; нетоксичность; низкую стоимость и др.

Конечная концентрация C_B экстрагируемого вещества в стоках определяется из соотношения

$$C_B = \frac{C_0}{(1 + BK_3)^n}, \quad (7.16)$$

где C_0 — начальная концентрация вещества в стоках, n — число экстракций, B — удельный расход экстрагента для одной экстракции, m^3/m^3 , равный

$$b = \frac{W}{n \cdot Q}, \quad (7.17)$$

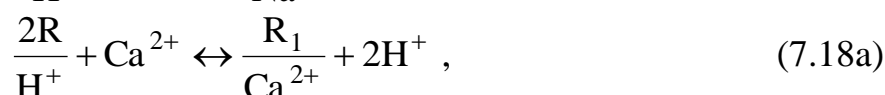
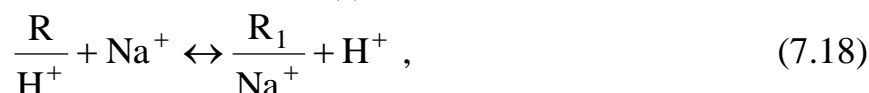
где W – общий объём экстрагента, затрачиваемого на экстракцию, м^3 ; Q – объём стоков, подвергающихся экстракции, м^3 .

Регенерация экстрагента из сточных вод и из экстракта (раствор примеси, удаляемой из стоков, в экстрагенте) осуществляется водяным паром.

7.7.4.4. Ионный обмен

Метод (гетерогенный ионный обмен или ионообменная сорбция) основан на процессе обмена между ионами, находящимися в растворе (в сточных водах), и ионами, присутствующими на поверхности твёрдой фазы – ионита. Молекулярная структура ионита содержит матрицу – молекулу нерастворимого органического вещества – и введенную в матрицу функциональную группу, способную обмениваться ионами с очищаемым раствором. Наиболее распространены синтетические органические иониты – ионообменные смолы. Иониты разделяются на катиониты и аниониты.

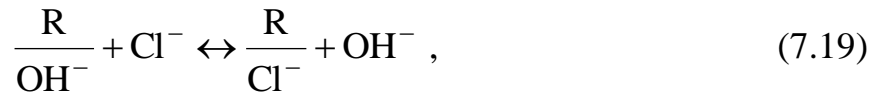
Катиониты – материалы, способные обмениваться катионами, то есть положительными ионами. Их функциональные группы, например, SO_3H – сульфогруппа, COOH – карбоксильная группа. При контакте с водой функциональная группа диссоциирует с отщеплением иона водорода. Последний легко может быть вытеснен другим положительным ионом, который, положим, необходимо удалить из сточной воды. Реакция ионного обмена может быть записана в виде



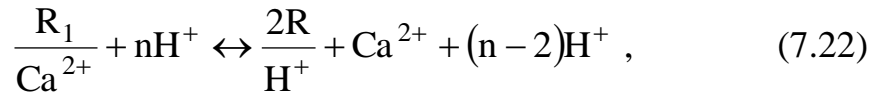
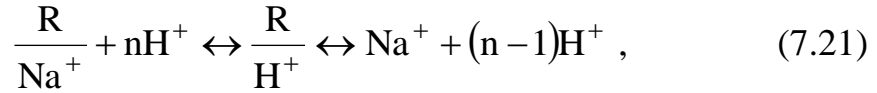
Здесь R обозначает комплекс катионитной матрицы и катионитной функциональной группы без обменного иона (одновалентного), R_1 – новый комплекс, образовавшийся в результате объединения двух комплексов R двухвалентным ионом кальция. Значит, подобный ионообменный фильтр поглощает из раствора ионы Na^+ , Ca^{2+} и т.д., а раствору передаёт ионы водорода.

Аниониты – материалы, способные обмениваться с раствором анионами, то есть отрицательными ионами. По аналогии с катионитами, структура анионита может быть обозначена как ROH , где R – комплекс анионитной матрицы и анионитной функциональной группы.

Примеры реакций обмена:



Регенерация катионов производится слабыми растворами кислот, например, 1-1,5 %-ным раствором серной кислоты:



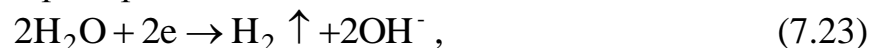
Регенерация анионитных фильтров производится обычно 4 %-ным раствором NaOH.

Ионный обмен производится в ионообменных фильтрах, которые в общих конструктивных чертах подобны механическим зернистым насыпным фильтрам. При пропускании сточной воды (прошедшей предочистку) через ионообменный фильтр частицы (зёрна) ионитного фильтроматериала расходуют свой ионообменный ресурс, и фронт насыщения ионами, удаляемыми из сточной воды, постепенно перемещается от входа фильтра к его выходу. При «крутом» фронте насыщения имеет место наиболее полное использование ионитного фильтроматериала. При подходе фронта насыщения к выходу насыпного ионообменного фильтра подача сточной воды прекращается, чтобы не допустить проскока через насыщенный фильтр ионов, удаляемых из сточной воды. Насыщенный фильтр подлежит регенерации, а очищаемые сточные воды пропускаются через свежий ионообменный фильтр.

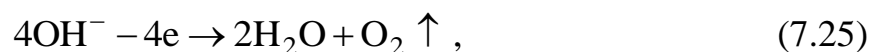
7.7.4.5. Электродиализ

Этот метод – вариант ионного обмена. Но в нём ионитный слой заменён специальными ионообменными мембранами, а движущая сила – внешнее электрическое поле.

При наложении постоянного электрического поля на раствор в последнем возникает движение ионов растворённых солей, а также H^+ и OH^- . При достижении катода катионы, а также молекулы воды восстанавливаются, например



На аноде происходит окисление анионов





Если в электродную ячейку поместить ионообменные мембраны: катионообменную, пропускающую только катионы, - около катода, а около анода – анионообменную пропускающую только анионы, то объём ячейки разделится на три камеры, рис. 7.7. В этом случае в катодную камеру из средней могут проходить лишь катионы, мигрирующие к катоду, а в анодную – анионы, мигрирующие к аноду. Значит, концентрация ионов в средней (второй по счёту, чётной) камере будут уменьшаться, в приэлектродных камерах – увеличиваться.

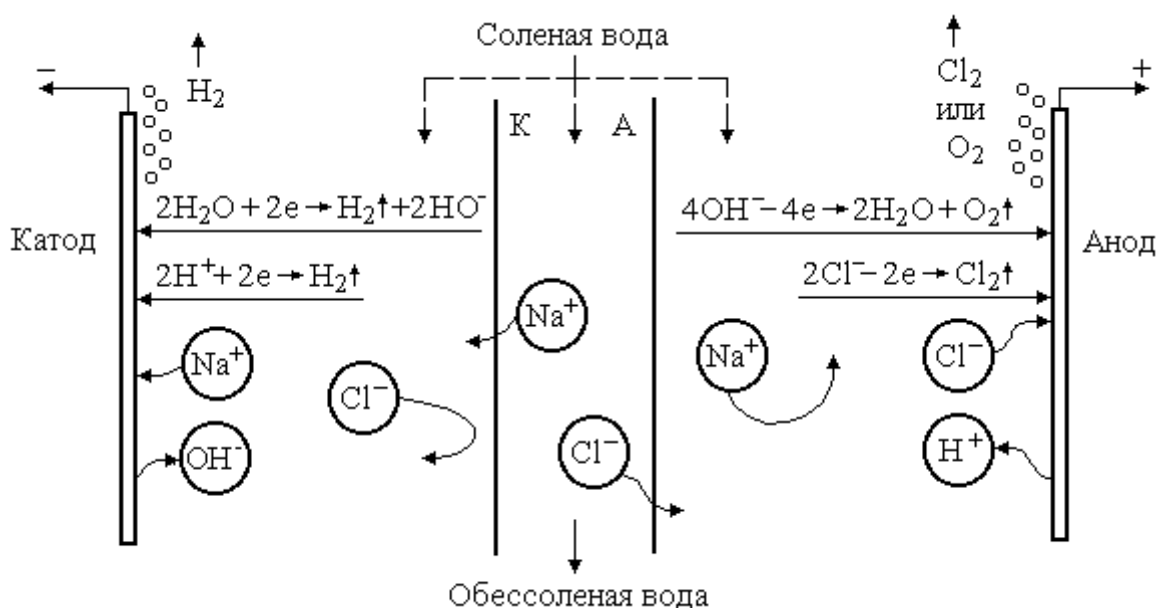


Рис. 7.7. Упрощенная принципиальная схема электродеализатора

Если электродную ячейку разделить на множество камер, то половина из них будет обессоливаться (чётные камеры), другая (нечётные камеры) – наоборот, насыщаться. Значит, очищенной от солей является вода (сточная вода) из чётных камер электродеализатора.

Мембраны для аппаратов производят в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов полимерного связующего с порошком ионообменных смол. Наиболее эффективное использование электродеализаторов – при концентрации солей в сточной воде $3 \cdots 8$ г/л.

7.7.4.6. Гиперфильтрация (обратный осмос) и ультрафильтрация

Гиперфильтрация – процесс непрерывного молекулярного разделения растворов путём их фильтрования под давлением через полунепроницаемые мембраны, задерживающие полностью или частично молекулы либо ионы растворённого вещества. При этом размеры отделяемых частиц (молекул, гидратированных ионов) сопоставимы с размерами

молекул растворителя (воды). Необходимое давление, превышающее осмотическое давление растворённого вещества в растворе, может достигать $5 \cdot 10$ Мпа. Гиперфльтрация производится в случае относительно высокого осмотического давления растворённого вещества в растворе.

В растворах, содержащих высокомолекулярные вещества с максимальным диаметром частиц 0,5 мкм, осмотическое давление пренебрежимо мало. Для их разделения применяют процесс ультрафльтрации на специальных мембранах, пропускающих лишь воду, ионы и молекулы низкомолекулярных соединений. В этом случае рабочее давление в аппарате не превышает 0,5 Мпа. Ультрафльтрацией также отделяют коллоидные частицы и мелкодисперсные фракции грубодисперсных веществ.

Наибольшей удельной площадью поверхности (на один кубический метр объёма аппарата, $\text{м}^2/\text{м}^3$) обладают аппараты из полых волокон малого, (45...200) мкм, диаметра, $20000 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Производительность – до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

7.7.4.7. Другие методы физико-химической очистки сточных вод

Эвапорация. Этот метод строится, в основном, либо на пароциркуляционном процессе, либо на азеотропной ректификации. В первом случае загрязнения отгоняются с циркулирующим водяным паром. При этом сточные воды движутся через колонку с насадкой (загрузкой) навстречу острому пару, нагреваются до 100°C , при этом находящиеся в них летучие примеси переходят в паровую фазу. Затем пар отмывается от загрязнений раствором щелочи.

Азеотропная ректификация основана на свойстве ряда летучих соединений образовывать нераздельнокипящие смеси с водой. В колоннах, обогреваемых паром, часть воды отгоняется в виде азеотропной смеси с загрязняющим компонентом. Из нижней части колонны выходят очищенные стоки, а из верхней части отводится пар и поступает в конденсатор. Конденсат после охлаждения направляется на сепарацию, где разделяется на два слоя - водный и органический. Водный слой сбрасывается в ёмкость исходной сточной воды, загрязняющий компонент – на переработку или использование.

Выпаривание. Применяется для увеличения концентрации солей, содержащихся в сточных водах, и ускорения их последующей кристаллизации, а также для обезвреживания небольших количеств, например, радиоактивных сточных вод. Требуется очень больших энергетических затрат. Испарение осуществляется с открытой поверхности сточных вод на

открытых испарительных площадках, площадь которых рассчитывается в зависимости от климатических условий и состояния грунтов.

Кристаллизация основана на различной растворимости веществ, содержащихся в сточных водах, при разных температурах. При изменении температуры получают пересыщенные растворы находящихся в них веществ, затем их кристаллы. Метод применяется при очистке высококонцентрированных сточных вод.

Термоокислительные методы – парофазное окисление («огневой метод»), жидкофазное окисление («мокрое сжигание»), парофазное каталитическое окисление.

При «огневом методе» сточные воды в распылённом состоянии вводятся в высокотемпературные продукты горения топлива и испаряются, при этом органические примеси сгорают. Минеральные примеси образуют твёрдые или расплавленные частицы, они выводятся из рабочей камеры печи или уносятся с дымовыми газами.

Жидкофазное окисление органических примесей сточной воды кислородом воздуха производится при повышенных температурах (до 350°C) и давлении.

Термокаталитическое окисление. Сточные воды подаются в выпарной аппарат, где пары воды и органических веществ, воздух и газы нагреваются до 300°C, затем смесь идёт в контактный аппарат, загруженный катализатором. Обезвреженная смесь охлаждается, конденсат используется в производстве.

7.7.5. Химическая очистка сточных вод [69]

К химической очистке сточных вод относятся, как правило, очистку от загрязнений при использовании химических реагентов. Она широко применяется при локальной очистке сточных вод предприятия. В целом, химочистка стоков может быть использована и как доочистка промышленных сточных вод, например, их дезинфекция. Основные методы: нейтрализация и окисление

7.7.5.1. Нейтрализация

Типичная реакция нейтрализации



При подборе соответствующей концентрации нейтрализующего иона, например, OH^- , вводимого в стоки с гашёной известью, концентрация каждого из ионов становится приблизительно равной, то есть значение рН приближается к 7. К нейтральным относятся воды с рН = 6,5…8,5.

Чаще всего стоки загрязнены кислотами: серной H_2SO_4 , азотной HNO_3 , соляной HCl или их смесями, реже - азотистой HNO_2 , фосфорной H_3PO_4 , сернистой H_2SO_2 , сероводородной H_2S и органическими, например, уксусной CH_3COOH , пикриновой $HOC_6H_2(NO_2)_3$, угольной H_2CO_3 и др.

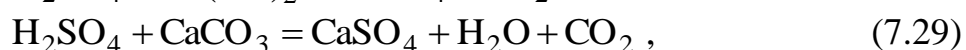
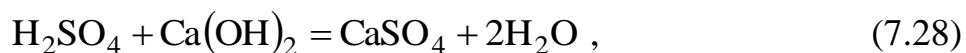
Способы нейтрализации:

- а) взаимная нейтрализация кислых и щелочных стоков;
- б) нейтрализация реагентами;
- в) фильтрование через нейтрализующие материалы

Взаимная нейтрализация кислых и щелочных стоков. Кислые стоки в промышленности обычно сбрасываются равномерно в течение суток, щелочные – по мере отработки щелочных растворов, для которых необходимо устраивать регулирующий резервуар. Из резервуара щелочные стоки равномерно выпускаются в камеру реакции, где и происходит взаимная нейтрализация. Метод особенно распространён в химической промышленности.

Нейтрализация стоков реагентами. В качестве реагентов используются растворы кислот, негашёной CaO и гашёной извести, кальцинированной соды Na_2CO_3 , каустической соды $NaOH$, аммиака NH_3OH . Реагентная нейтрализация используется в случаях, когда на предприятии образуются только или кислые или щелочные стоки или если невозможно произвести взаимную нейтрализацию кислых и щелочных стоков.

Для нейтрализации минеральных кислот применяют любой щелочной реагент, чаще известь, а также карбонаты кальция или магния, например:



Образующийся гипс кристаллизуется из разбавленных растворов (такowymi являются сточные воды) в виде $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Для нейтрализации органических жирных кислот используют известь, содержащую 25...30 % активного оксида кальция или смесь извести с 25% технической аммиачной водой.

Нейтрализация стоков фильтрованием через нейтрализующие материалы. Обычно применяется для нейтрализации кислых сточных вод, в качестве нейтрализующих материалов используются известь, известняк, доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, магнезит $MgCO_3$, обожжённый магнезит MgO , мел $CaCO_3$. Крупность фракций фильтроматериала – 3...8 см, скорость фильтрования – до 5 м/ч, продолжительность контакта – не менее 10 мин.

Конструктивно фильтры выполняются с вертикальным движением кислых стоков.

При нейтрализации кислых стоков предусматривается надёжная изоляция оборудования или изготовление его из кислотоупорного

материала. Методы расчёта нейтрализационных установок приведены в [67, 72].

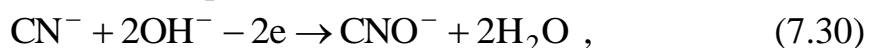
7.7.5.2. Окисление

Метод используется для обезвреживания стоков, содержащих токсичные соединения (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка) или соединения, которые нецелесообразно извлекать из сточных вод или очищать другими методами: стоки участков гальванических покрытий в Машиностроении и приборостроении, стоки производств переработки свинцово-цинковых и медных руд в горнодобывающей промышленности, стоки цехов варки целлюлозы в целлюлозобумажной промышленности и т.п.

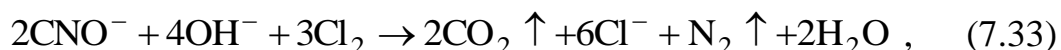
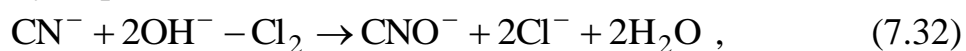
При очистке стоков используют окислители: хлор, гипохлорат кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, кислород воздуха и технический кислород. Реже применяют пероксид водорода, оксиды марганца, перманганат и бихромат калия.

Окисление активным хлором – один из наиболее распространённых способов очистки стоков от ядовитых цианидов, сероводорода, содержание цианидов в стоках может достигать 100 мг/л и более, и это требует их очистки перед подачей на биологическую очистку или перед выпуском в водоём.

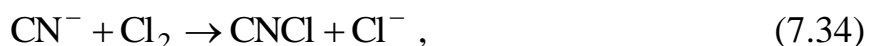
Так, окисление ядовитых цианид-ионов CN^- производится переводом их в нетоксичные цианиты CNO^- , которые гидролизуются с образованием ионов аммония и карбонатов



Окисление цианидов хлором можно проводить только в щелочной среде, $\text{pH} \geq 9 \dots 10$, образующиеся цианиты можно окислить до элементарного азота и диоксида углерода

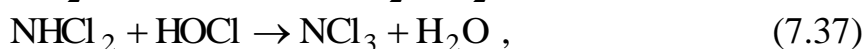
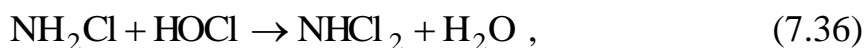


При снижении pH происходит прямое хлорирование цианида с образованием токсического хлорциана

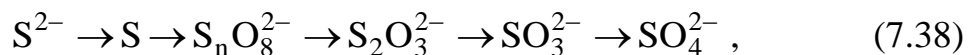


При наличии в стоках аммиака, аммонийных солей или органических веществ, содержащих аминогруппы, хлор, хлорноватистая кислота и гипохлориты вступают с ними в реакцию, образуя моно- и дихлорамины и трёххлористый азот



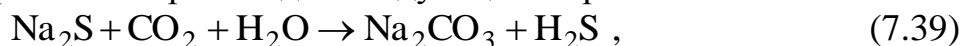


Окисление кислородом воздуха используется для окисления сульфидных стоков и стоков нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Окисление гидросульфидной и сульфидной серы протекает через ряд стадий



При этом сера изменяет свою валентность с -2 до $+6$. Если $\text{pH} = 7 \dots 13,75$, то продуктом окисления сероводорода, гидросульфида сульфита является тиосульфат.

Разрушение сульфидных соединений можно осуществлять диоксидом углерода, содержащимся в дымовых газах, при этом образование карбонатов происходит следующим образом



Выделяющийся сероводород – сырьё для получения серной кислоты.

Озонирование. Озон способен разрушить (обезвредить) в водных растворах при нормальной температуре многие органические (неорганические) вещества, его преимущество в том, что его можно получить непосредственно на очистной станции (посредством тихого электрического разряда в газовой среде) из технического кислорода или кислорода атмосферного воздуха.

Так, уже упомянутые ядовитые цианид-ионы под воздействием озона окисляются в нетоксичные цианит-ионы



Принципиальная технологическая схема озонирования стоков состоит из двух основных узлов: получение озона и очистка сточных вод.

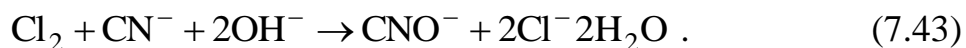
Озон и его водные растворы чрезвычайно коррозионны. Наиболее устойчивые материалы: нержавеющая сталь и алюминий.

Озонирование эффективно при очистке стоков от фенолов, циклопентана, циклогексана, тетраэтилсвинца, цианидов, крезолов, поверхностно-активных веществ. Процесс озонирования можно интенсифицировать совместным воздействием озона и ультразвука или озона и УФ-излучения.

Электрохимическое окисление. В его основе лежат анодное окисление и катодное восстановление. На аноде (графит, магнетит, диоксиды свинца, магния, рутения, нанесённые на титановую основу) в зависимости от солевого состава стоков и условий электролиза выделяются кислород и галогены, окисляются некоторые органические вещества. На катоде (свинец, цинк, легированная сталь) происходит выделение газообразного водорода и восстановление некоторых органических веществ.

Опыт применения электрохимических методов для очистки стоков показал их высокую эффективность при удалении фенолов, цианидов, нетросоединений, сульфидов, аминов, кетонов, альдегидов, спиртов.

Для снижения расхода электроэнергии и интенсификации окисления в сточные воды добавляют минеральные соли, обычно NaCl, который разлагается с выделением на аноде атомов хлора, участвующих в процессе окисления, например



Основные параметры процесса: плотность тока до 100 А/м²; объёмная плотность тока до 3 А/л; количество вводимого хлорида натрия 5…10 г/л.

Радиационное окисление органических и минеральных веществ в сточных водах происходит за счёт реакции этих веществ с продуктами радиолиза воды: OH^- , HO_2^- (в присутствии кислорода), H_2O_2 , H^+ . В качестве источников излучения могут быть использованы радиоактивные кобальт и цезий, тепловыделяющие элементы (твэлы), радиационные контуры, ускорители электронов. Имеется лабораторный опыт очистки стоков от фенолов, цианидов, красителей, инсектицидов, поверхностно-активных веществ.

Радиационное окисление примесей в стоках – перспективный метод. В практике очистка стоков пока широко не используется из-за сложного аппаратного оформления и больших затрат.

7.7.6. Биологическая очистка сточных вод

7.7.6.1. Общие представления о биологической очистке сточных вод

Биологическая очистка сточных вод – технологический процесс очистки сточных вод, основанный на способности биологических организмов (редуцентов) разлагать загрязняющие вещества [71].

Биологическое разрушение (окисление) загрязняющих органических веществ производит биоценоз, включающий в себя в общем случае бактерий, простейших, водорослей, грибов, коловраток, червей и т.д., потребляющих органическое вещество и в процессе дыхания превращающих его в воду и углекислый газ. Пирамида массы данного биоценоза представлена на рис. 7.8.

Общая схема окисления загрязняющих органических веществ в аэробных условиях:

1) Органические вещества + O_2 + N (азот) + P (фосфор) → микроорганизмы + CO_2 + H_2O + биологически неокисляемые растворённые вещества;

2) Микроорганизмы + O₂ → CO₂ + H₂O + N + P + биологически не разрушаемая часть клеточного вещества.

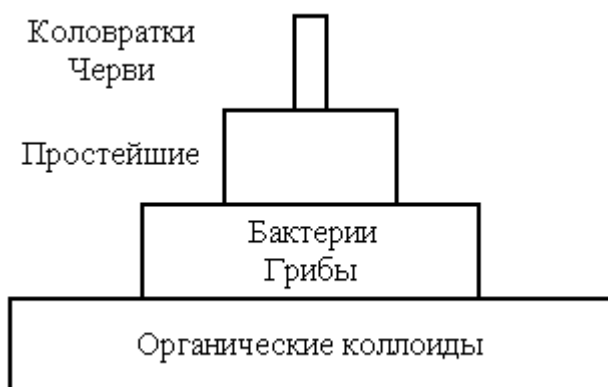


Рис. 7.8. Пирамида биомассы биоценоза, разрушающего (окисляющего) органические загрязнения сточных вод

Реакция (1) отображает окисление исходных органических загрязнений и образование новой биомассы; реакция (2) представляет процесс эндогенного (внутреннего) окисления клеточного вещества, происходящий после использования внешнего источника питания (органических загрязнений стоков).

Ферментативные реакции окисления загрязняющих органических веществ, содержащихся в сточных водах, происходят внутри бактериальной клетки, куда элементы питания должны попадать сквозь её оболочку. Поэтому важная роль в общем процессе окисления принадлежит внеклеточному ферментативному гидролитическому расщеплению частиц и крупных молекул на более мелкие, соизмеримые с размерами клетки.

7.7.6.2. Влияние факторов на биологическую очистку стоков

Температура. Как правило, оптимальные температуры для аэробных процессов – 20…30°C; существуют группы бактерий, функционирующих в других температурных интервалах: психофилы – 10…15°C, термофилы – 50…60°C и др. Роль температуры связана, в частности, с температурной зависимостью растворимости кислорода в воде.

Величина pH. Биологическая очистка эффективна при pH = 5…9, оптимальная – при pH = 6,5…7,5, есть бактерии, склонные к кислой (грибы, дрожжи, pH = 4…6) или к слабощелочной среде (актиномицеты).

Содержание биогенов. Биогенные элементы N и P необходимы бактериальной клетке как «строительный» (N) и энергетический (P) материал, необходимы также (в незначительных количествах) элементы Mn, Zn, Cu, Mo и др. [67].

Сбалансированность элементов питания для бактерий в сточных водах определяется соотношением БПК_п: N: P (N – азот аммонийных солей и P – фосфор в виде растворённых фосфатов). Оптимальным для биоочистки стоков считается соотношение 100 : 5 : 1, характерное для нефте-

перерабатывающих заводов; для производства поливинилацетатных пластмасс, например, оно составляет 100 : 3,9 : 0,8.

Уровень питания: величина суточной нагрузки по загрязнениям в пересчёте на 1 м³ очистного сооружения, выражаемая через БПК_п, приходящаяся на 1г беззольной части биомассы. Оптимальная (классическая) суточная нагрузка – 150····400 мг БПК_п/г·сут.

Токсичные вещества. Ими могут быть органические и неорганические вещества, их действие может быть микробостатическим (задерживается рост и развитие микроорганизмов) и убивающим (микробоцидным). Существует ПДК для сооружений биологической очистки.

7.7.6.3. Методы и сооружения биологической очистки

Естественные методы: почвенная очистка на полях фильтрации (орошения) и очистка в биологических прудах.

Биологическая очистка на *полях орошения* заключается в том, что при прохождении стоков через слой почвы в последней адсорбируются взвешенные и коллоидные вещества, образующие микробиологическую плёнку. Эта плёнка окисляет задержанные органические вещества и минерализует их. Такие поля оснащены системой подводящих, распределительных и отводящих сооружений. Простейший вариант поля орошения для очистки непромышленных стоков описан в [19]. Неочищенные стоки города Эммитсберга (США) сначала поступают в пруд, где оседает мусор и самые крупные частицы. Это – первичная очистка, характерная практически для всех методов биоочистки. Часто вместо пруда используются большие баки, называемые первичными отстойниками. Затем стоки подаются на поля с пахотным слоем около 30 см. Здесь выращивается канареечник – кормовой злак, активно поглощающий из почвы азот и другие биогены. Глинистая водонепроницаемая подпочва образует плавный уклон в направлении от оросительной трубы: сточные воды просачиваются сквозь пахотный слой и стекают в дренажную канаву на другой стороне поля. По мере прохождения стоков сквозь почву обитающий в ней биоценоз (рис. 7.7) разлагает и усваивает органические отходы и обогащает почву биогенами. Канареечник поглощает питательные элементы, поэтому вода на выходе поля весьма чистая и почти лишена их. Эту воду используют для полива кормовых культур, канареечник скашивают и скармливают скоту. Таким образом, биогены совершают полный круговорот, попадая из сточных вод в траву, в мясо животных, в человека, затем опять в стоки и в почву.

Серьёзным препятствием для подобной очистки и использования промышленных стоков является частое содержание в них ядовитых

веществ – свинца, ртути, хрома, не разлагаемой органики. Между тем промышленность часто сбрасывает свои отходы в коммунальные очистные системы, эти отходы подавляют организмы, участвующие в системах биоочистки и серьезно снижают её эффективность. Предварительная очистка промышленных стоков от ядовитых отходов позволит шире использовать сточные воды для орошения.

Биологические пруды - искусственные водоёмы с использованием естественных процессов – применяются для очистки промышленных и коммунальных стоков. Здесь культивируют биоценозы, аналогичные рассмотренным для случая полей орошения. Различают биологические пруды с естественной и искусственной аэрацией. Последняя позволяет значительно уменьшить требуемую площадь прудов.

Биологическая очистка сточных вод *в искусственных сооружениях* производится *в биологических фильтрах, аэротенках и окситенках*.

В биофильтрах сточная вода из отстойников (первичных) разбрызгивается и стекает струйками по слою щебня, гравия и т.п. загрузочного фильтроматериала, толщина которого может достигать 2···3 м. При разбрызгивании сточная вода обогащается кислородом. Как и в естественных ручьях, в этих условиях функционирует сложная экосистема из бактерий, простейших, мелких червей и других микро- и макроорганизмов, прикреплённых к элементам фильтроматериала. Они “выедают” из протекающей воды органическое вещество, включая патогенов. Случайно смытые с биофильтров организмы устраняются во вторичных отстойниках. В биофильтрах сточные воды теряют до 90 % органических веществ. Интенсивность биоокисления органического вещества в биофильтре повышается при подаче сжатого воздуха через фильтр в направлении, противоположном фильтрованию.

Аэротенки представляют собой, в сущности, отстойники, в которые помещают активный ил – смесь микро- и макроорганизмов – детритофагов, то есть пожирателей неживого органического вещества, образующих специфический водный биоценоз, рис. 7.8, с водой, органическим веществом, биологически неокисляемыми растворёнными веществами и биологически неокисляемой частью клеточного вещества. По мере движения воды по аэротенку она интенсивно аэрируется сжатым воздухом, то есть создаётся идеальная среда для развития указанных организмов.

Окситенки - модификация аэротенков, в которые вместо сжатого воздуха поступает газообразный кислород, что приводит к интенсификации процессов окисления.

Сточная вода после аэро- и окситенков направляется во вторичные отстойники, осадок которого – тот же активный ил, который снова направляют в аэрационный резервуар. Излишки активного ила вместе с

илом – сырцом (осадком и всплывшим грубодисперсным веществом в первичном отстойнике) направляют на переработку – сбраживание или компостирование. В результате получают метан и качественное удобрение (гумус) для сельскохозяйственных полей и газонов.

До трёх последних десятилетий острой необходимости в дополнительной очистке сточных вод после вторичной (после вторичных отстойников) не ощущалось [19]. Воду дезинфицировали хлоркой и сбрасывали в естественные водоёмы. Однако по мере развития эвтрофикации всё более значимой становится проблема введения ещё одного этапа очистки – доочистки, устраняющей биогены. Например, фосфаты можно устранить, добавив в воду известь (ионы кальция). Образуется нерастворимый фосфат кальция, который можно удалить фильтрованием. Если избыток фосфата – главная причина эвтрофикации, этого уже достаточно.

При соответствующей доочистке можно добиться того, что получится вода, пригодная для питья. В обозримом будущем предстоит всё чаще решать вопрос о том, оправданно ли направление такой воды в сеть муниципального водоснабжения. Если вопрос нехватки воды обострится (разделы 7.3, 7.4), то, повидимому, ответ всё чаще будет положительным. Многие из нас бледнеют при мысли о подобном вторичном использовании сточных вод, в частности, городских канализационных стоков. Однако, вероятнее всего, с этим придётся смириться: ведь и в природе в любом случае вода совершает круговорот. Между тем подходящая доочистка может обеспечить воду гораздо лучшего качества, чем получаемая из многих рек и озёр, в которые сбрасываются практически неочищенные канализационные стоки [19].

Перед сточными водами, прошедшими вторичную биоочистку, есть альтернативный путь: на орошение сельскохозяйственных полей и газонов – в случаях, когда это предотвращает забор таких же количеств чистой воды из естественных водоёмов.

7.7.7. Глубокая очистка и обеззараживание сточных вод

Содержащиеся в биологически очищенных сточных водах биомасса, растворённые органические загрязнения, поверхностно-активные вещества (ПАВ), биогены (N,P), препятствуют сбросу их в водоёмы или повторному использованию на предприятии. Задачи завершающей, глубокой очистки: снижение содержания взвешенных веществ; снижение БПК и ХПК, содержания ПАВ, N, P; обеззараживание сточных вод и насыщение их кислородом.

Снижение БПК (ХПК), содержания взвешенных веществ и ПАВ обеспечивается, как правило использованием уже рассмотренных

(разд. 7.7.2.) зернистых фильтров. Это достигается задержанием суспензированной биомассы и минерализацией растворённых в воде органических веществ с помощью биомассы, накапливающейся в фильтровальной загрузке – как в биофильтре (разд. 7.7.5). Так, эффект удаления взвешенного активного ила на каркасно-насыпном фильтре достигает 80 % при исходной концентрации 20 мг/л, эффект снижения БПК_п – 70 % при исходной концентрации 10–15 мг/л, снижение ПАВ в виде грубодисперсной фазы – 80 % при исходной концентрации 2,5 мг/л; на фильтрах Оксипор обеспечивают снижение концентрации взвешенных веществ, БПК₅, ПАВ, ХПК и содержания нефтепродуктов на, соответственно, 90, 80, 70, 70 и 80 % при концентрациях поступающих загрязнений в пределах ПДК для биологической очистки.

Для удаления азота, находящегося в сточных водах в виде свободного аммиака, солей аммония и нитритов используются методы: отдувка аммиака; удаление нитратов методами ионного обмена, хлорирования, озонирования, гиперфльтрации, электролиза; восстановление нитратов до молекулярного азота химическим и биологическим методом (денитрификация).

При очистке некоторых категорий сточных вод биогены удаляются уже на второй стадии биоочистки – в сооружениях с активным илом, обогащённым микроводорослями. Последние активно усваивают биогены азота, фосфора, калия, углерода в процессе фотосинтеза.

Глубокая очистка сточных вод от соединений фосфора производится в химико-биологическом процессе очистки с введением солей железа или алюминия на ступени очистки перед аэротенками, в активный ил или в поток иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники. Образующиеся нерастворимые соединения фосфора соосаждаются с активным илом и удаляются вместе с избыточным илом. Удаление фосфатов также возможно при введении в сточные воды извести, например, после вторичного отстойника или во вторичный отстойник [19].

Для глубокой доочистки сточных вод от растворённых органических загрязнений используются также биологические пруды.

Глубокая очистка сточных вод от СПАВ, нефтепродуктов, соединений азота, сернистых соединений, красителей и других трудноокисляемых веществ производится методом сорбции активными углеродосодержащими сорбентами в комплексе с другими методами очистки.

Обеззараживание очищенных сточных вод осуществляется для возможно полного уничтожения оставшихся патогенных бактерий. Из четырёх направлений обезвреживания: термический; с помощью сильных окислителей; воздействием ионов благородных металлов; с помощью ультразвука, УФ- и радиоактивного излучений – наиболее распространено

второе. В качестве окислителей используются хлор, диоксид хлора, озон, марганцевокислый калий, пероксид водорода, гипохлорид натрия и кальция.

7.8. Обратные системы водоснабжения промышленных предприятий

Большинство промышленных предприятий являются крупными потребителями воды, что обусловлено универсальностью её свойств и распространённостью на Земле.

Так, в энергетической отрасли, на тепловых и атомных электростанциях (ТЭС и АЭС) рабочим телом являются вода и водяной пар. В зависимости от того, для каких целей используется вода на электростанции, к качеству воды предъявляются различные требования. На ТЭС и АЭС различают: воду и пар, используемые как рабочее тело (пар, конденсат, питательная вода); добавочную воду (для восполнения потерь рабочего тела в цикле электростанции); сетевую и подпиточную воду теплосетей и техническую воду. Последняя используется для отвода теплоты от отработавшего пара в конденсаторах турбин, в системе гидрозолошлакоудаления, для охлаждения масла и газа турбин и электрогенераторов, охлаждения подшипников вспомогательных механизмов), для отвода тепла из бассейнов выдержки тепловыделяющих элементов АЭС и для ряда других целей. Незначительная часть технической воды, поступающей на электростанцию, является исходной для подготовки добавочной воды основного цикла и подпиточной воды.

Значит, в процессах использования технической (природной) воды на электростанции образуются: золошлаковая пульпа (для ТЭС на твёрдом топливе), замасленные и замазученные (для ТЭС на мазуте) воды, стоки химцехов, в которых подготавливается вода для использования в цикле в качестве рабочего тела (засоленные воды), стоки химических промывок и консервации оборудования, обмывок поверхностей нагрева котлов и воздухоподогревателей и подогретая (в сравнении с источником) сбросная вода конденсаторов турбин (тепловое загрязнение).

Как и для других промышленных предприятий, для ТЭС и АЭС принципиально возможны два варианта водопользования. По первому техническая вода забирается из природного источника (река, озеро) и после использования на электрической станции и соответствующей очистки сбрасывается в тот же источник. Эта система технического водоснабжения – *прямоточная*.

По второму варианту на электростанции применяется замкнутое водопользование, а из природных источников техническая вода на ТЭС и АЭС подаётся лишь в количествах, необходимых для восполнения естественных её потерь на электростанции. Этому варианту соответствуют

оборотные системы технического водоснабжения. Они снабжены прудами – охладителями или градирнями.

По варианту прмоточной системы водоснабжения электростанция должна располагаться вблизи крупного природного водного источника, во втором варианте это требование необязательно.

“Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения” регламентируют преимущественное использование оборотных систем водоснабжения, в которых сточные воды после очистки вновь используют в технологических процессах.

Анализ изложенного в настоящей главе позволяет сделать вывод: уже в обозримом будущем общество должно прийти к такому режиму водопользования, когда сброс вод, использованных на промышленных предприятиях, будет исключён: технологической схемой предприятия будет предусмотрено многократное использование некоторого количества воды в тех или иных технологических процессах. То есть повсеместно утвердятся высокоэффективное оборотное водоснабжение.

В ряде технологий (фрагментов технологий) это имеет место уже сегодня или планируется на недалёкое будущее. Так, в энергетике реально стоит вопрос о создании бесточных систем ВПУ (водоподготовительных установок, обессоливающих природную воду для пароводяного цикла), об отказе от систем гидрозолошлакоудаления на ТЭС, работающих на твёрдом топливе и переходе к “сухому”, бесточному удалению золы и шлака и т.п. [65]. Очень перспективной и, повидимому, ещё до конца не оценённой сегодня является разработка оборотной системы водоснабжения ТЭС с воздушно-конденсационной установкой Геллера, рис. 7.9. [62]. Такая установка включает в себя конденсатор смешивающего типа, циркуляционный насос и радиаторно-охладительную башню (РОБ). Последняя состоит из корпуса, подобного корпусу градирни, в нижней части которого установлены алюминиевые радиаторы.

Вода (конденсат турбины) циркуляционными насосами прокачивается через радиаторы, в которых она охлаждается потоками воздуха, поступающими в вытяжную башню через боковые окна, имеющиеся в её нижней части. Охлаждённая вода после РОБ используется в конденсаторе смешивающего типа для конденсации отработавшего в турбине пара. Небольшая часть конденсата, в количестве, равном расходу пара, поступающего в конденсатор, после циркуляционных насосов отводится к конденсатному насосу и далее к паровому котлу. Основной поток вновь поступает в РОБ. Воздух через РОБ движется под воздействием естественной тяги. Для увеличения теплообмена радиаторы выполняют оребрёнными. Интенсивность теплообмена сильно зависит от высоты башни. Поэтому высота РОБ для мощных установок достигает 150 м.

Установка Геллера замечательна тем, что исключает испарение или капельный унос воды из конденсатора в процессе её охлаждения, как это имеет место в прудах – охладителях или в градирне. Это значительно уменьшает [65] безвозвратные потери воды по сравнению с прямоточной и, особенно, оборотной (с прудами – охладителями или градирнями) системами водоснабжения – до 1 % и 2 % от валового водопотребления, соответственно. Валовое потребление – сумма расходов ($\text{м}^3/\text{с}$) воды, находящейся в обороте, и поступающей на станцию свежей воды. Например, по [62] для ТЭС мощностью 5 млн. кВт при прямоточной системе водоснабжения для целей конденсации пара в конденсаторе необходим постоянный забор свежей воды $\sim 140 \text{ м}^3/\text{с}$. Это – валовое потребление, в котором есть только поступление свежей воды и нет оборотной воды. Безвозвратные потери воды при этом составляют 1 %, или $1,4 \text{ м}^3/\text{с}$. При оборотной системе, например, с градирнями, для конденсации пара в конденсаторе необходимо примерно такое же количество воды ($140 \text{ м}^3/\text{с}$), но здесь свежая вода составляет $\sim 5 \%$ от валового водопотребления, то есть $\sim 7 \text{ м}^3/\text{с}$, оборотная – 95 %, или $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

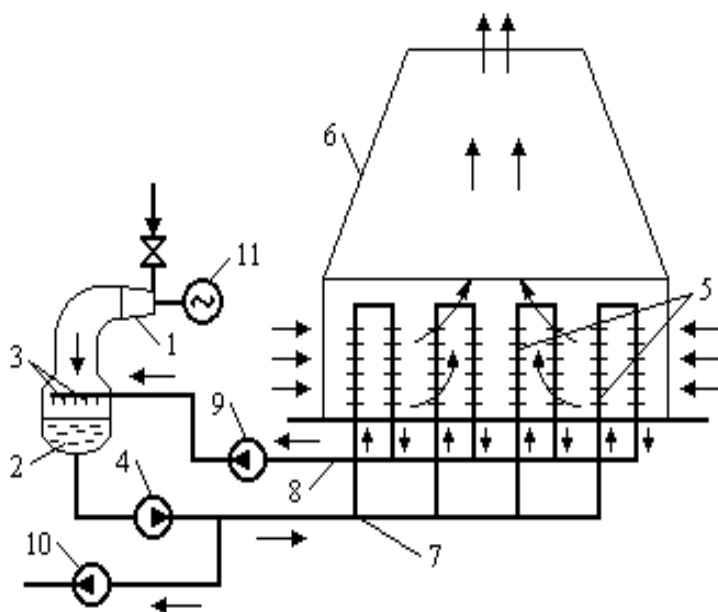


Рис. 7.9. Схема оборотного водоснабжения с воздушноконденсационной установкой Геллера
 1 – паровая турбина;
 2 – смешивающий конденсатор; 3 – форсунки конденсатора; 4 – циркуляционный насос; 5 – охлаждающие колонны; 6 – вытяжная башня; 7 – трубопровод нагретой воды; 8 – трубопровод охлажденной воды; 9 – гидротурбина; 10 – конденсатный насос; 11 – генератор

Внедрение установок Геллера может снизить норму забора свежей воды на электростанциях в 17(!) раз, а норму безвозвратных потерь – в 4 раза.

Конечно, в бессточных технологических процессах в разных отраслях индустрии есть и будут расходы воды на собственно производство продукции и безвозвратные потери, которые будут компенсироваться в

соответствии с уравнением:

$$Q_{\text{ист}} = Q_{\text{потребл.}} + Q_{\text{потерь}} \quad (7.44)$$

При этом тарифная политика в области водопотребления в соответствии с концепцией устойчивого развития (постоянное ужесточение тарифов) с неизбежностью будет вести к уменьшению как $Q_{\text{потребл.}}$, так и $Q_{\text{потерь}}$, поскольку потребитель воды должен будет оплачивать и то, и другое. И если сегодня существует известная сдержанность в части внедрения воздушно-конденсационной системы Геллера (из-за необходимости больших расходов на это) [65], то в рамках осуществления концепции устойчивого развития владельцы электростанций будут вынуждены пойти на большие расходы по внедрению установок Геллера, и этим будет внесён вклад в защиту гидросферы.

Что касается замасленных и замазученных вод и вод обмывок поверхностей нагрева, то здесь формируются высокоэффективные локальные замкнутые системы, в которых очищенные и охлаждённые до приемлемого уровня сточные воды будут снова направляться на охлаждение масла и газа, подшипников, на обмывку поверхностей нагрева и др.

В части уменьшения стоков химпромывок и консервации оборудования стратегическим для энергетики остаётся вопрос разработки материалов для внутренних поверхностей элементов пароводяного цикла, способных противостоять коррозии и связанному с ней образованию отложений. Решение этого вопроса приведёт к исключению данных стоков вообще. Это – вопрос совершенствования технологии энергетического производства, направленного на исключение самих причин возникновения стоков химических промывок и консервации оборудования пароводяного цикла, являющийся одной из компонент общей проблематики создания малоотходных и безотходных технологий (см. разд. 7.7.).

Такие же тенденции – развитие оборотного водоснабжения и уменьшение объёма сточных вод – наблюдается в других отраслях индустрии. Так, в машиностроении в большом числе случаев используют оборотные системы водоснабжения отдельных цехов и участков, стоки которых стабильны по составу. Используются также двухступенчатые схемы очистки, при которых в локальных очистных сооружениях сточные воды предварительно очищаются от специфических (для данных цехов, участков) примесей, а доочистка от других примесей осуществляется на общезаводских очистных сооружениях. Выбор схем очистки стоков и, соответственно, схем оборотного водоснабжения определяется типом и мощностью предприятия, степенью “безотходности” используемых технологий, характеристиками источников водоснабжения [63].

На рис. 7.10. представлена схема типичной оборотной системы водоснабжения крупного машиностроительного предприятия [63]. В основные

и вспомогательные цехи поступает питьевая 2, техническая 3, техническая деминерализованная 4 вода и сточные воды 1 и 17. Состав сточных вод: маслосодержащие 5 – 60,6 %; с преобладающим содержанием твёрдых примесей 9 – 23,7 %; концентрированные маслосодержащие сточные воды, в том числе: отработанные моющие и обезжиривающие растворы 8 и отработанные смазочно-охлаждающие жидкости 6 – 1,6 %; стоки окрасочных камер 7 – 1,2 %; стоки с преобладающим содержанием растворимых примесей, в том числе: цианосодержащие 10, кислотно-щелочные 11, никельсодержащие 12 и хромосодержащие 13 – 12,8 %. Маслосодержащие стоки очищают в очистных сооружениях 23 и очищенные воды 1 возвращают в технологический процесс; отделённые маслопродукты идут в сборник 22, откуда часть поступает на установку 20 регенерации масел, остальные – на термическую утилизацию 21. На очистные сооружения одновременно поступают и предварительно очищенные в установке 24 отработанные смазочно-охлаждающие жидкости 6. В очистных сооружениях 25-27 производится очистка соответственно стоков окрасочных камер 7, отработанных моющих и обезжиривающих растворов 8 и стоков с преобладанием твёрдых частиц 9, которые после очистки вновь используются в технологическом процессе, а выделенные масла и твёрдые частицы направляют в сборник маслопродуктов 22 и шламоборник 19. Цианосодержащие 10, кислотно-щелочные 11 и никельсодержащие 12 сточные воды после нейтрализации в нейтрализаторе 15 направляют в очистные сооружения 16, из которых очищенную сточную воду вновь подают в технологический процесс или сбрасывают в водоём по трубопроводу 18. Хромосодержащие сточные воды 13 после выделения из них хрома в очистных сооружениях 14 направляют 28 для дальнейшей очистки на городскую станцию очистки стоков.

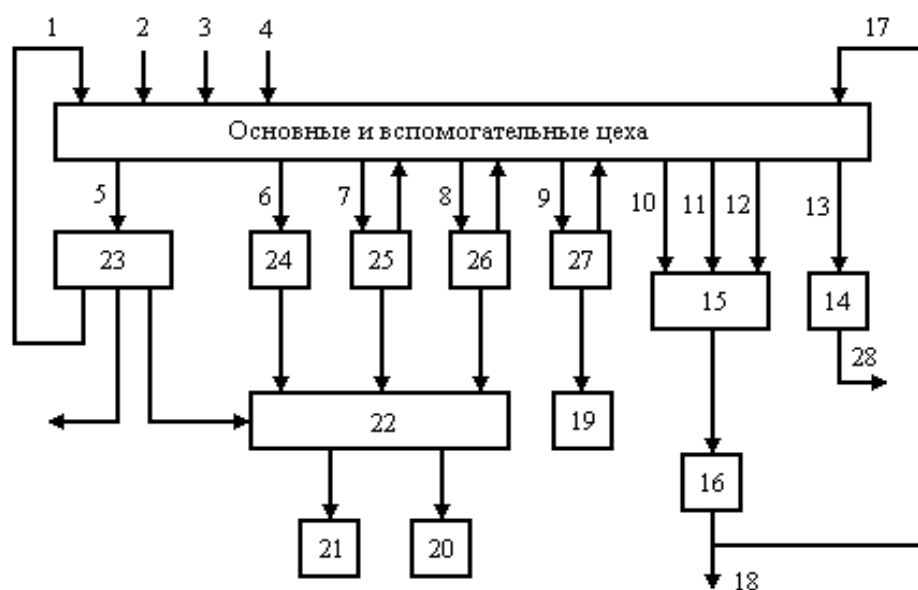


Рис. 7.10. Схема оборотного водоснабжения машиностроительного предприятия [63]

Как следует из рис. 7.10, данная схема оборотного водоснабжения одноступенчатая, кроме той её части, которая относится к очистке хромо-содержащих стоков: последняя имеет две ступени, правда, вторая ступень – не общезаводские (их нет), но коммунальные очистные сооружения. И ещё: рассматриваемая система водоснабжения, можно сказать, малосточная, так как за пределы предприятия передаются только сточные воды 13, очищенные от хрома. Думается, что по мере ужесточения тарифов на водопотребление предприятие найдёт возможным доочистить эти стоки собственными силами и направить очищенную воду повторно в технологический процесс. В последующем предприятие, скорее всего, будет воздерживаться и от сброса в водоём очищенных вод после очистных сооружений 16. Этот сброс и соответственно забор свежей воды могут стать гораздо дороже доочистки (если доочистка требуется) и повторного использования данных сточных вод. Если это осуществится (прекращение сбросов 18 и 28), то рассмотренная оборотная система водоснабжения станет фактически идеальной, бессточной. Тогда на повестку дня встанет другой вопрос: как сократить потери воды в технологическом процессе и тем самым минимизировать забор всё более дорожающей свежей воды.

Глава 8. УМЕНЬШЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТВЁРДЫМИ ОТХОДАМИ

Всё то, что человек добывает, производит, выращивает, потребляет, в конце концов, превращается в отходы. Часть из них удаляется вместе со сточными водами, другая часть в виде газов, паров и пыли попадает в атмосферу, но большая часть выбрасывается в виде твёрдых отходов. Каждый житель планеты «производит» ежедневно до 1,5 килограммов мусора.

Гора твёрдых бытовых отходов (ТБО) растёт с каждым днём – за год у нас в стране их собирается примерно 60 млн. тонн. Объём бытового мусора в США составляет 140 млн. т в год, для уборки мусора ежедневно требуется 63 тыс. мусоровозов [19]. Объём бытовых отходов в расчёте на одного человека увеличивается примерно на 1-4 %, а на массе на 0,2-0,4 % в год [52]. В состав БО (мусора) входят зола, шлак, бумага, пластмасса, пищевые отходы, металл, стекло и пр. Ещё более разнообразны составляющие промышленных отходов: древесина, бумага, текстиль, кожа, резина, гипс, соли, шлаки, зола, формовочная земля, металл, отходы животного происхождения, строительный мусор.

Как утверждают специалисты, с начала двадцатого века в России накопилось 80 миллиардов тонн только твёрдых отходов и ежегодно к ним добавляется ещё по 7 миллиардов тонн [56].

8.1. Классификация твёрдых отходов. Транспортировка твёрдых отходов

Итак, из краткого вступления к главе 8, ясно, что отходы, прежде всего, делятся на бытовые и промышленные. Нужно отметить, что в настоящее время отсутствует общая научная классификация твёрдых промышленных отходов, охватывающая всё их разнообразие по тем или иным принципам. Существующие классификации твёрдых отходов весьма многообразны и в большинстве своём односторонни. Так, твёрдые отходы классифицируют по отраслям промышленности, по конкретным производствам, по тоннажности, степени использования, способности к возгоранию, коррозионному воздействию на оборудование и т.п. С точки зрения воздействия на окружающую среду, на наш взгляд, наибольший интерес представляет классификация отходов по токсичности, приведённая в «Методических рекомендациях по определению класса токсичности промышленных отходов».

Поскольку твёрдые отходы размещают на почве (свалки, полигоны и т.п.) или захоранивают в почву, важное значение имеют нормативы предельно допустимых количества (концентрация) токсичных веществ в

почве (ПДК_п). ПДК_п – предельно допустимые количества химического вещества в пахотном слое почвы, мг/кг. Это количество не должно вызывать прямого или отрицательного косвенного влияния на соприкасающуюся с почвой среду и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. Выделяют четыре класса токсичности отходов: I – чрезвычайно опасные, II – высокоопасные, III – умеренно опасные и IV – малоопасные.

Основой для отнесения отходов к определённому классу токсичности является индекс токсичности – K_i , определяемый по выражению:

$$K_i = \frac{ПДК_i}{(S + C_B)_i}, \quad (8.1)$$

где ПДК_i – предельно допустимая концентрация химического вещества, содержащегося в почве; S – безразмерный коэффициент, характеризующий растворимость веществ в воде; C_B – содержимое данного компонента в общей массе отходов, т/т (в долях единицы ≤ 1,0); i – порядковый номер данного компонента;

Рассчитав K_i для отдельных компонентов отхода, выбирают от 1 до n ведущих компонентов, имеющих минимальное значение K_i . Суммарный индекс токсичности (опасности) K_Σ определяют по формуле

$$K_\Sigma = \sum_{i=1}^{1..n} K_i, \quad (8.2)$$

где $n \leq 3$. После чего устанавливают класс токсичности с помощью табл. 8.1.

Вывоз промышленных отходов производится самими предприятиями в специальные места захоронения или на общие свалки, куда вывозятся твёрдые бытовые отходы из городов.

Таблица 8.1

Зависимость степени опасности промышленных отходов от суммарного индекса токсичности

K_Σ	Класс токсичности (опасности)	Степень опасности
< 2	I	Чрезвычайно опасные
2 ... 16	II	Высокоопасные
16, 1 ... 30	III	Умеренно опасные
> 30	IV	Малоопасные

Основные способы сбора бытовых отходов:

1. По мусоропроводам отходы собираются в мусороприёмные камеры и далее перегружаются в мусоропроводы.
2. Отходы собираются в специальные контейнеры, затем перегружаются в мусоропроводы.
3. Отходы собираются непосредственно в мусоропроводы, которые приезжают в установленное время. Перечисленные методы несовершенны и негигиеничны, так как мусороприёмные камеры и контейнеры являются источником неприятных запахов и рассадником насекомых и грызунов.
4. Применение пневматического транспорта для удаления мусора из мусоропроводов по горизонтальным подземным каналам до станции, обслуживающей несколько зданий, или целый микрорайон. На этих станциях после прессования мусор перегружается в мусоропроводы.
5. Сплав в канализацию дробленых отходов из квартир, гостиниц, ресторанов и других объектов. С этой целью у раковин устанавливаются механические дробилки, из которых измельчённый мусор вместе со сточной водой удаляется в канализацию, где он обезвреживается в очистных сооружениях.
6. Системы удаления отходов, в которых его пневматическая транспортировка сочетается с дроблением и сплавом в канализацию.

8.2. Полигоны для твёрдых отходов

В подавляющем большинстве случаев твёрдые отходы удаляются вывозным путём в основном на неконтролируемые свалки – специально отведённые в пригородах отгороженные участки. Отходы на них разлагаются, часто загораются, в результате загрязняется воздушная среда, часто токсичными веществами. Кроме того, вредные вещества могут вымываться дождевыми, талыми, поверхностными и грунтовыми водами и загрязнять водоёмы и подземные воды.

В качестве альтернативы используются полигоны для твёрдых отходов. Для такого полигона выбирают место по возможности в глинистом грунте, в котором можно складировать отходы в течение 20-25 и более лет. Основание выбранной площади делают в виде огромного корыта глубиной примерно 1,5 м. При невозможности выбрать место в глинистом грунте водоупорное основание создаётся искусственно, причём на уплотнённый слой глины толщиной 0,5 м иногда наносится слой щебня, что облегчает отвод фильтрата и метана. Фильтрат, остающийся в пределах полигона, не загрязняет водоёмы и подземные воды. В случае большого количества осадков фильтрат откачивают со дна корыта насосами и разбрызгивают по поверхности укладываемых отходов. Одна часть фильтрата испаряется, другая проникает внутрь, где вызывает

медленный биотермический процесс с повышением температуры до 30°C. До дна, таким образом, доходит не более 5 % жидкости.

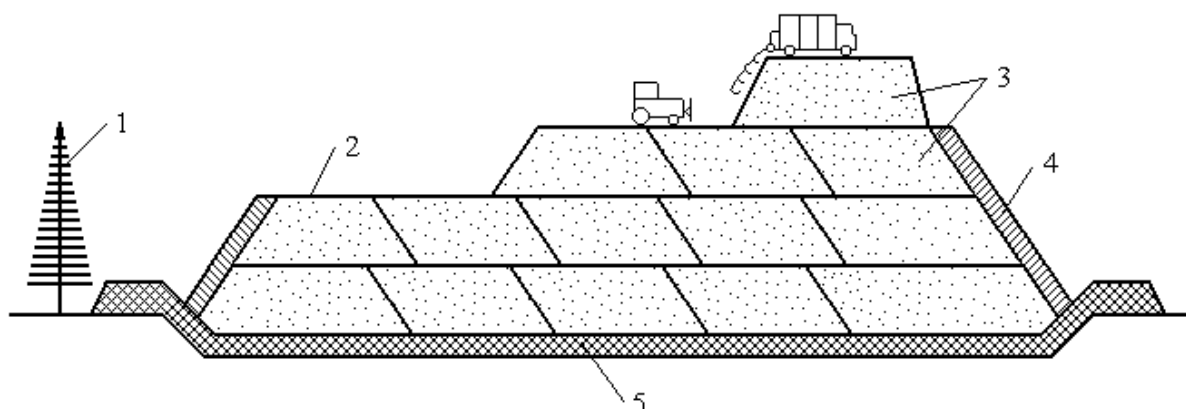


Рис. 8.1. Схематичный разрез полигона для твердых отходов
1 – лесозащитные полосы (зеленая зона); 2 – промежуточный изолирующий слой; 3 – отходы; 4 – укрывающий наружный слой растительного грунта; 5 – естественное или искусственное водоупорное основание (глина)

В течение суток вывозят отходы на одну площадку полигона и уплотняют бульдозерами послойно до 2-х метровой высоты. На следующие сутки отходы вывозят на другую площадку, а предыдущую укрывают изолирующим слоем грунта толщиной 0,25 м. Изоляция грунтом и его последующее уплотнение препятствует загрязнению воздушной среды и распространению грызунов и насекомых.

Для сокращения площади полигон загружают многослойно (рис. 8.1). Конструктивные схемы допускают высоту 60 м. После заполнения полигона поверхность его покрывают растительным грунтом. Полигон окружается скважинами, с помощью которых ведётся мониторинг загрязнения грунтовых вод.

Полигоны могут иметь различные соотношения длины и ширины. Площадь их зависит от численности жителей города и высоты складирования.

Для размещения полигонов твердых отходов можно использовать овраги и другие неудобные земли. После полной загрузки полигона и закрытия его растительным грунтом поверхность последнего можно использовать для устройства парков, садов, игровых площадок и т.п.

В закрытых от соприкосновения с воздухом бытовых и пищевых промышленных отходах, находящихся в насыпях полигона, возникает анаэробный процесс, при котором выделяется биогаз (смесь метана и углекислого газа), который можно использовать как топливо.

Рассмотренные полигоны твёрдых отходов предназначены в основном для бытовых отходов. Однако исследованиями установлено, что часть промышленных отходов может быть принята на полигоны твёрдых бытовых отходов – это инертные, биологически окисляемые легко разлагающиеся органические вещества, слаботоксичные, малорастворимые в воде (всего более 10 тысяч видов). Промышленные отходы используются, как правило, для устройства слоёв промежуточной изоляции.

8.3. Хранение и нейтрализация токсичных промышленных отходов

Главным направлением в устранении вредного воздействия на окружающую среду токсичных промышленных отходов является их использование в производственных циклах, т.е. организация малоотходных производств. Однако в ряде случаев для нейтрализации промышленных отходов приходится устраивать специальные сооружения.

Эти сооружения могут быть в ведении предприятия, создающего токсичные отходы, и даже зачастую располагаются на его территории.

Токсичные промышленные отходы могут складироваться, перерабатываться и нейтрализоваться централизованно на полигонах и станциях переработки и нейтрализации. Существуют два вида специальных полигонов: для обезвреживания одного вида отходов захоронением или химическим способом, либо комплексные – для обезвреживания различных видов отходов. Территорию комплексных полигонов разделяют на зоны приёма и захоронения твёрдых негорючих отходов, приёма и захоронения жидких химических отходов и осадков сточных вод, не подлежащих утилизации, захоронения особо вредных отходов, огневого уничтожения горючих отходов. На территориях полигонов и за их пределами ведётся контроль состояния поверхностных и грунтовых вод, а также чистоты воздушной среды.

Захоронения промышленных отходов производят в котлованах глубиной до 10-12 м в специальной таре, например, в железобетонных резервуарах. Котлованы располагают в водонепроницаемых грунтах.

Радиоактивные отходы собираются в местах их образования отдельно от других отходов в специальные сборники, внутренние поверхности которых изготавливаются из гладкого мало сорбирующего материала. Транспортировка к местам захоронения производится на специально оборудованных автомашинах. Автомашины и сменные сборники после каждого рейса должны дезактивироваться.

Проблема обезвреживания и захоронения радиоактивных отходов – одна из наиболее жгучих проблем атомной энергетики.

Рассмотрим вопрос, связанный с захоронением радиоактивных отходов [57]. Отходы образуются на всех стадиях ЯТЦ: добычи, переработки сырья, изготовлении тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). Кроме того, радиоактивные изотопы применяются в медицине, биологии, промышленности. В силу высокой концентрации энергии в ядерном топливе, количество образуемых отходов, по сравнению с другими отраслями, сравнительно невелико, но, тем не менее, проблем здесь довольно много.

Сама технология выделения отходов, их концентрирование, прессование, заключение в цементные, битумные или стеклянные блоки – это целая отрасль атомной промышленности. Ещё более сложной и дорогостоящей является технология сжигания. Отходящие дымовые газы очищаются методами адсорбции и фильтрации, а зола, загрязнённая радионуклидами, подвергается цементированию, битумированию или остекловыванию.

Главный вклад вносят, конечно, атомные электростанции. Особое место занимают отработавшие рабочие каналы – ТВЭЛы, которые содержат высокоактивные осколки деления, а также недовыгоревший уран и накопившийся плутоний. Они представляют собой наиболее активный тип отходов, а потому требуют к себе особого отношения. Сегодня тепловыделяющие элементы подвергают захоронению, чаще всего прямо на территории АЭС. Хранят их в водной среде на достаточно большом удалении друг от друга. Таким образом, достигаются две цели: отводится тепло, выделяющееся при продолжающемся радиоактивном распаде и исключается возникновение критического ансамбля, способного привести к взрыву.

Ещё одна технология захоронения. Рабочий канал освобождают от конструктивных элементов, не имеющих столь высокой активности, как ядерное горючее: от кожухов, крышек, колпаков и пр. Остаются только ТВЭЛы. Чтобы они занимали меньше места их, например, скручивают в жгуты, помещают в медный контейнер, заливают свинцом, закрывают крышкой и заваривают. Медь слабо подвергается коррозии, поэтому контейнер может простоять без изменений сотни и даже тысячи лет. Правда, в металле могут со временем образоваться свищи и герметичность может нарушиться. Хранят эти контейнеры на дне океана, в глубинных геологических формациях, в соляных шахтах. Соль обладает пластической текучестью. Под действием теплоты, выделяемой радиоактивными отходами, соль оплавляет контейнер, что является дополнительной защитой. Выбором места захоронения проблема не ограничивается, поскольку захоронение – инженерное сооружение, требующее наличия систем Контроля, вентиляции, оснащения инженерно-техническими коммуникациями и т.д.

В целом, вопрос, где хранить отходы, которые в течение многих тысячелетий будут радиоактивными, пока далёк от решения.

8.4. Переработка и утилизация твёрдых отходов

8.4.1. Переработка твёрдых отходов на компост

Более совершенным приёмом обезвреживания и использования твёрдых отходов является их переработка на компост. Компостирование заключается в естественном биологическом разложении органического вещества в присутствии воздуха. Конечный продукт – гумусоподобное вещество, которое можно использовать как органическое удобрение. Поскольку бытовые отходы на 60-80 % состоят из органики (бумага, пищевые отбросы), их также можно компостировать. В настоящее время применяются два способа компостирования: полевые и переработка на специальных заводах.

При полевом компостировании мусор выдерживается во влажном, но хорошо аэрируемом состоянии, что ведёт к разложению органического мусора до гумусоподобной массы. Ряды мусора разрыхляются и переворачиваются специальной машиной для ускорения компостирования.

В заводских условиях происходит непрерывный процесс компостирования с аэробным окислением во вращающемся наклонном барабане. Из приёмного бункера мусор с помощью дозирующего устройства подаётся ровным слоем на транспортёр, откуда магнитом и вручную из него извлекается металлический лом. Далее масса поступает во вращающиеся барабаны, сделанные на основе обжиговых цементных печей, в которых и происходит процесс переработки мусора в компост. Барабан заполняется массой на 2/3 объёма, специальным вентилятором в него подаётся воздух. Отходы находятся в барабане трое суток, за это время он делает до 2000 оборотов. Процесс происходит с выделением тепла, из-за чего компостируемая масса обезвреживается. После дополнительной сепарации металла масса попадает на специальное устройство (грохот), где происходит отделение не компостируемых отходов: резины, кожи, текстиля, цветных металлов, полимерных материалов. В процессе окисления отходов в барабане происходит выделение газообразных продуктов распада и дурнопахнущих веществ, которые отводятся в топку котельной.

Компостируемый материал поступает в измельчитель, размер частиц доводится до 25 мм, стекла – до 3 мм. В таком виде компост можно использовать в сельском хозяйстве. В нём (в расчёте на сухое вещество) содержится около 1 % азота и по 0,3 % фосфора и калия, а также необходимые для подкормки растений микроэлементы.

Не компостируемые отходы поступают в печь пиролиза, в которой без доступа воздуха происходит их термическое разложение. В результате получается смола, газ и твёрдый углеродистый остаток – пирокарбон. Газ

и смола используются в качестве энергетического топлива, а пирокарбон – в металлургической промышленности.

8.4.2. Рециклизация

Даже при достаточных площадях под новые полигоны сама их система неустойчива. В итоге человечество может получить покрытый «пирамидами» отходов ландшафт и сотни тысяч людей, обслуживающих полигоны.

Выходом из положения может стать вторичная переработка отходов – рециклизация. Существует множество способов вторичной переработки различных типов отходов. Назовём наиболее широко применяемые технологии [19]:

- макулатуру измельчают в бумажную массу, из которой изготавливают различную бумажную продукцию;
- стекло дробят, плавят и делают из него новую тару или дробят и используют вместо гравия или песка при производстве бетона и асфальта;
- пластмассу переплавляют и изготавливают из неё «синтетическую древесину», устойчивую к биодegradации и обладающую громадным потенциалом как материал для различных ограждений, настилов, столбов, перил и других сооружений под открытым небом;
- металлы плавят и перерабатывают в различные детали – это позволяет экономить до 90 % электроэнергии, необходимой для выплавления металлов из руды;
- пищевые отходы и садовый мусор компостируют с получением органического удобрения;
- текстиль измельчают и используют для придания прочности макулатурной бумажной продукции;
- старые покрышки переплавляют с изготовлением новых резиновых изделий.

Кроме этих, имеются сотни других промышленных методов переработки отходов.

8.4.3. Обработка осадка сточных вод

Практически от 30 до 50 % присутствующего в канализационных стоках органического вещества входит в ил-сырец, оседающий в отстойниках и на других стадиях очистки. Он представляет собой густую, чёрную, зловонную массу, состоящую примерно на 98 % из воды и на 2 % из органики, включающей множество патогенных организмов. После

соответствующей обработки из него можно получить гумус и использовать его как удобрение.

Обработка ила основана на питании им бактерий и других детритофагов. Это может происходить двумя способами:

- в отсутствие воздуха – анаэробное сбраживание.
- в присутствии воздуха – компостирование;

I. Анаэробное сбраживание.

Ил-сырец помещают в крупные герметичные баки. В отсутствие кислорода бактерии питаются илом (анаэробное сбраживание), в качестве побочного продукта вырабатывая биогаз. Он содержит углекислый газ и вещества, придающие стокам дурной запах, но практически на 60 % состоит из метана. Последнее обстоятельство даёт возможность использовать биогаз как топливо. На практике его используют для нагревания самих баков с целью поддержания в них оптимальной для организмов температуры около 38°C.

Сбраживание завершается через 4-6 недель и в баках остаётся обработанный ил – водный раствор гумуса. Этим раствором можно удобрять сельскохозяйственные поля и газоны прямо в жидком виде, так как полезны и гумус, и богатая биогенами вода. Обработанный ил можно отфильтровать и получить полутвёрдый гумусовый кек, правда, вместе с отфильтрованной водой пропадает основная часть биогенов, что снижает питательную ценность кека.

II. Компостирование.

Для компостирования ил-сырец отфильтровывают, смешивают с древесиной стружкой или другим материалом для улучшения аэрации и складывают в кучи или компостные ряды. Аэрацию повышают, дополнительно подавая воздух или механически перемешивая. В компостных кучах бактерии и другие редуценты и детритофат перерабатывают органику в гумумоподобную массу. Тепла, выделяемого при дыхании, оказывается достаточно для гибели патогенных организмов. После шести или восьми недель компостирования от древесной стружки отделяют гумус, готовый для применения на полях.

В последние годы всё большее развитие получает совместное компостирование твёрдых бытовых отходов и осадка сточных вод. Эта технология способствует насыщению компоста микрофлорой и микроэлементами и позволяет в оптимальном режиме поддерживать биотермический процесс. Он сопровождается нагреванием массы до 60-70°C. При этом гибнет большинство болезнетворных микроорганизмов, яйца гельминтов, личинки мух.

8.4.4. Отходы как источник энергии

Сжигание твёрдых отходов целесообразно в случае использования тепловой энергии и очистки уходящих газов. Этот процесс происходит на мусоросжигательных станциях, имеющих паровые котлы со специальными топками. Температура в топке должна быть не менее 1000°C для того, чтобы сгорали все дурнопахнущие примеси газов и не происходило бы зашлаковывания колосников. Перед выходом в дымовую трубу газы очищаются, например, с помощью электрических фильтров. Металлический лом отделяется от шлака электромагнитным сепаратором. Другие негорючие остатки требуют захоронения, но они составляют лишь 10-20 % от исходного объёма мусора.

8.4.5. Безотходное и малоотходное производства

Использование всех рассмотренных в этой главе способов уменьшения загрязнения окружающей среды не позволяет решить проблему в полной мере и сопряжено с ростом затрат на их реализацию. Альтернативой является внедрение безотходных и малоотходных производств.

Под безотходными производствами можно понимать совокупность технологических процессов, в которых отходы одних используются в качестве сырья для других, что обеспечивает практически их полную утилизацию. Например, зола, образующаяся при сжигании органического топлива, может быть использована при производстве силикатного кирпича, как наполнитель бетонов и т.п.

Создание безотходных производств является весьма сложным и длительным процессом, промежуточным этапом которого является малоотходное производство. При малоотходном производстве воздействие на окружающую среду не превышает уровня, установленного санитарно-гигиеническими нормами. При этом по различным причинам (техническим, экономическим, организационным и др.) часть сырья и материалов может переходить в отходы и направляться на хранение или захоронение.

Малоотходная и безотходная технологии должны обеспечить:

- комплексную переработку сырья с использованием всех его компонентов;
- создание и выпуск новых видов продукции с учётом требований повторного её использования;
- переработку отходов производства и потребления с получением товарной продукции или любое полезное их использование без нарушения экологического равновесия;
- использование замкнутых систем промышленного водоснабжения;
- создание безотходных комплексов.

Этапы развития малоотходных и безотходных производств:

- 1) малая ресурсоёмкость и незначительные выбросы в окружающую среду;
- 2) создание цикличности производств – отходы одних являются сырьём для других;
- 3) организация разумного захоронения неминуемых остатков и нейтрализация энергетических отходов.

Все этапы могут быть одновременными. В результате сокращаются экономические издержки производства, достигается комплексность использования сырья, и более эффективно решаются проблемы уменьшения загрязнения окружающей среды отходами.

Глава 9. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

9.1 Общие представления об энергетических загрязнениях окружающей среды

Производственная и другая деятельность человека приводит не только к химическому загрязнению биосферы, рассмотренному в предыдущих главах. Всё возрастающую роль в общем потоке негативных антропогенных воздействий на биосферу приобретает её физическое загрязнение. Последнее связано с изменением физических параметров внешней (окружающей) среды, то есть с их отклонением от параметров естественного фона.

В настоящее время наибольшее внимание привлекают изменения электромагнитных и виброакустических параметров (условий) окружающей среды. Как правило, в литературе они рассматриваются как волновые или энергетические загрязнения.

Спектр частот известных сегодня электромагнитных колебаний чрезвычайно широк: от близких к нулю до $3 \cdot 10^{22}$ Гц (рентгеновское излучение). В связи с этим обстоятельством и различием способов получения и регистрации, а также в связи с многообразием проявлений электромагнитных колебаний весь спектр разбит на несколько диапазонов.

1) Радиоволны, возбуждаются при движении электрических зарядов в системах, образованных телами макроскопических (надмолекулярных) размеров, частоты $0 < f < 6 \cdot 10^{12}$ Гц, $\lambda > 5 \cdot 10^{-5}$ м, согласно международному регламенту радиосвязи длины (частоты) радиоволн делятся на 12 диапазонов, начиная с крайне низких частот $3 \cdot \dots \cdot 30$ Гц, кончая гипервысокими частотами $0,3 \cdot \dots \cdot 3$ ТГц.

2) Оптические волны (излучения), возбуждаются при движении электрических зарядов в системах атомно-молекулярных размеров. Спектр частот, $f = 3 \cdot 10^{11} \dots 3 \cdot 10^{16}$ Гц (границы условные), $\lambda = 10^{-3} \dots 10^{-8}$ м. Весь спектр оптического излучения разделён на три диапазона:

- инфракрасное, $f = 3 \cdot 10^{11} \dots 3,9 \cdot 10^{14}$ Гц, $\lambda = 10^{-3} \dots 0,77 \cdot 10^{-6}$ м, или тепловое излучение;
- видимое, $f = 3,9 \cdot 10^{14} \dots \sim 7,9 \cdot 10^{14}$ Гц, $\lambda = 0,77 \cdot 10^{-6} \dots 0,38 \cdot 10^{-6}$ м, или световое излучение;
- ультрафиолетовое излучение, $f = 7,9 \cdot 10^{14} \dots 3 \cdot 10^{16}$ Гц, $\lambda = 0,38 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-8}$ м.

3) Рентгеновское излучение, возникает при взаимодействии заряженных частиц и фотонов с атомами вещества, $f = 3 \cdot 10^{15} \dots 3 \cdot 10^{22}$ Гц, $\lambda = 10^{-8} \dots 10^{-14}$ м.

4) Гамма-излучение, генерируется возбуждёнными ядрами атомов при радиоактивных превращениях и ядерных реакциях, при распаде частиц и т.п., $f > 3 \cdot 10^{18}$ Гц, $\lambda < 10^{-10}$ м.

Общепризнано, что в настоящее время наибольший вклад в энергетическое загрязнение окружающей среды вносят изменения её электромагнитных параметров в диапазонах частот, соответствующих областям радиоволн (собственно *электромагнитное* загрязнение), инфракрасного, или теплового излучения (*тепловое* загрязнение), рентгеновского и гамма-излучения, которые вместе с α - и β - частицами (испускаются радионуклидами – нестабильными ядрами радиоактивных элементов: уран, торий, полоний, радий и др.) являются причиной *радиоактивного* загрязнения биосферы, а также изменение виброакустических параметров (*виброакустическое* загрязнение).

Одной из основополагающих компонент комплекса мер по защите окружающей среды от энергетических загрязнений является их нормирование, то есть установление того уровня энергетического загрязнения, превышение которого недопустимо при организации в данном месте нового производства (завод, ТЭС и т.п.) или реконструкции прежнего. Если при химическом загрязнении этим предельным уровнем является предельно допустимая концентрация, ПДК (см. разд. 7.5.), то при энергетическом загрязнении введён предельно допустимый уровень, ПДУ, энергетического загрязнения. Его смысл соответствует смыслу ПДК. Как и в случае ПДК, ПДУ устанавливается отдельно для техносферы (для рабочей зоны) и для окружающей среды (населённой местности). Последний всегда меньше, чем ПДУ для рабочей зоны. В большом числе случаев это различие составляет 10 раз, что можно объяснить двумя обстоятельствами. Во-первых, в рабочей зоне, то есть на производстве, заняты, выражаясь эколого-биологическим языком, оформившиеся

(физически и биологически) человеческие особи. Их устойчивость к воздействию вредных факторов (диапазон толерантности) выше, чем у другой части населения: детей, пожилых и престарелых людей, а также просто физически слабых людей. Во-вторых, в значительной мере это различие предопределено тем, что в большинстве случаев вредный фактор формируется именно в рабочей зоне, где он имеет максимальные значения; по мере распространения в окружающем пространстве он уменьшает свою интенсивность, так что вне производственной территории его интенсивность априорно меньше, чем в рабочей зоне. Получается, что в определённой степени это двойное нормирование лишь фиксирует объективное распределение интенсивности вредного фактора в пространстве (речь идёт и о химическом, и об энергетическом загрязнении).

Конечно, в глубинной основе сегодняшнего нормирования вредных экологических факторов лежат и экономические соображения. Читатель сейчас же согласится с тем, что лучше всего – сделать так, чтобы и концентрация вредных веществ, и интенсивность энергетических факторов были пренебрежимо малыми. Увы, в том-то и состоит обратная сторона "медали" технического прогресса и в этом-то и содержатся истоки Глобального экологического кризиса, что не всегда удаётся оформить технологию производства так, чтобы полностью исключить её вредные воздействия. Рынок, по большому счёту, в принципе антиэкологичен. Рыночному производителю надо либо вкладывать большие средства в доводку технологии до устранения вредных воздействий, и тогда его "поезд может уйти", либо он прорывается в рынок со своим товаром (услугой), неся за ним шлейф экологических издержек. Но этот шлейф экологических издержек (явно вредных, их по всем человеческим меркам надо устранять!) согласуется (!) с надзорно-контрольными экологическими органами на основе компромиссной концепции ПДК и ПДУ, и вот уже товар пошёл гулять по свету, внося свой вклад в тот планетарный феномен, который мы сегодня называем Глобальным экологическим кризисом.

В принципе, тем не менее, компромиссная концепция ПДК и ПДУ сегодня – реальный и действенный инструментальный защиты окружающей среды. И он найдёт свое место в процессе реализации концепции устойчивого развития. Но свои конструктивные приложения он найдёт лишь в развитии. Направленность его развития: уровни ПДК и ПДУ должны снижаться. Жизнь, то есть практика реализации концепции устойчивого развития, подскажет, каким должен быть темп ужесточения экологических нормативов. Разумеется, он должен быть оптимальным: ни излишне быстрым, ни слишком медленным. Он будет таким, каким его

определит Коллективный Разум мирового сообщества – с постоянным учётом темпа развития Глобального экологического кризиса.

Но, повидимому, дело будет заключаться не только в постоянном ужесточении экологических нормативов в их сегодняшнем виде. Скорее всего, будет изменяться и философия (критерии) самих экологических нормативов, в частности, нормативов для энергетических загрязнений.

В соответствии с современными представлениями о взаимодействии энергетического фактора с организмом [34] можно обозначить следующую логику определения (поиска) ПДУ. Например, применительно к акустическому (шумовому) фактору.

Пройдя длительный эволюционный процесс, человек адаптировался к реальному спектру акустических воздействий. В ходе эволюции оказалось нецелесообразным для слухового аппарата человека регистрировать звуковые сигналы с плотностью потока энергии акустических колебаний воздушной среды, меньшей чем 10^{-12} Вт/м² (зона превентивного торможения [34]: повидимому все явления окружающего мира, сопровождаемые эмиссией звуковых сигналов с плотностью потока энергии, меньшей, чем 10^{-12} Вт/м² (пороговая чувствительность), не играли значимой роли в жизнедеятельности наших доисторических предков и поэтому инстинктивно “обрезались”.

Более энергоёмкие сигналы несли более значимую информацию, в итоге наш слуховой аппарат воспринимает звуковые сигналы в чрезвычайно широком диапазоне плотностей потока энергии, который образует информационную зону. Все звуки в этой зоне помогали доисторическому человеку (и помогают нам) ориентироваться в окружающем мире. Правая (верхняя) граница этого диапазона плотностей потока звуковой энергии, и более высокие её значения повидимому соответствовали тем реальным звуковым сигналам, которые также реально не несли значимую информацию (иначе слуховой аппарат приспособился бы к ним). Эта запредельного торможения, поскольку эти сигналы специфически восприниматься не могут, так как нарушают нормальную саморегуляцию организма, и последний вынужден защищаться от их действия охранительным торможением.

В качестве верхней границы информационной зоны естественно принять величину, сопоставимую с энергией основного обмена организма, пересчитанную на эквивалент плотности потока энергии [34]. Энергия основного обмена, практически одинаковая для всех теплокровных животных, составляет 1000 кал/м² в сутки (постоянная Рутберга), или $5 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Если выразить эту величину в децибелах по отношению к порогу чувствительности т.е.

$$L = 10Lg \frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^{-12}} \cong 107 \text{ дБ} , \quad (9.1)$$

то получим усреднённый уровень звукового давления на верхней границе информационной зоны. Она соответствует энергии основного обмена в состоянии организма между покоем и интенсивной мышечной работой. В последнем случае энергия основного обмена может возрасти в 5-8 раз [34], то есть примерно на порядок величины. Для этого случая $L = 117 \text{ дБ} \cong 120 \text{ дБ}$. Соответственно, для состояния покоя $L \cong 100 \text{ дБ}$. Одновременно это нижняя граница зоны запредельного торможения, или зоны энергетического воздействия.

Таким образом, величина энергии основного обмена, точнее спектр величин этой энергии, соответствующий спектру состояний организма между покоем и интенсивной мышечной работой (в децибелах этот спектр выражается как $100 \dots 120 \text{ дБ}$), может рассматриваться как исходная величина при установлении теоретических ПДУ энергетических загрязнений (воздействий). Причём это может быть отнесено к каждому энергетическому воздействию: в ходе эволюции организмы адаптировались ко всем энергетическим воздействиям, по каждому из них организмы имеют информационную зону и, соответственно, верхнюю границу этой зоны, сопоставимую с энергией основного обмена. Естественно поэтому в качестве некоторого приближения ПДУ того или иного энергетического воздействия рассматривать его параметры, соответствующие энергетике основного обмена.

Приведённая логика установления ПДУ энергетических загрязнений – один из вариантов подхода, в основу которого кладётся идея о существовании некоторого энергетического порога подобных воздействий, при превышении которого биосистемы претерпевают необратимые изменения, ведущие к ущербу их жизнедеятельности. Речь идёт об изменениях на разных уровнях: на организменно-надорганизменном уровне – изменения (реакции) поведенческие, роста, развития; на клеточно-субклеточном уровне – реакции обмена, роста, развития.

Разумеется, вопрос о ПДУ энергетических воздействиях весьма сложен, как сложно всё, что связано с жизнедеятельностью организмов. В сущности, работы по эколого-гигиеническому нормированию энергетических воздействий на биосферу представляют собой фрагмент общего фронта исследований взаимодействия физических полей с живым веществом. Однозначных решений в части ПДУ в настоящее время не существует. Можно сказать, что в результате исследований в этой области сформировалась определённая методология, позволяющая практике экологического нормирования (а таковая есть в каждой стране, так как всесторонние экологические нормативы являются насущной

потребностью общества) развиваться в рамках современных научных представлений в данной области.

9.2. Защита окружающей среды от ионизирующих излучений

9.2.1. Некоторые понятия, термины, величины, единицы измерения

Приведенные далее понятия, термины, величины, единицы измерения соответствуют [86-90].

Радиоактивность – самопроизвольное превращение (распад) атомных ядер. При этом изменение атомного номера приводит к превращению одного химического элемента в другой, изменение массового числа – к превращению изотопов данного элемента. Каждый акт распада сопровождается испусканием α - или β - частицы или нейтрона или γ - кванта (фотона) или определённым их сочетанием. Данные частицы способны прямо или косвенно ионизировать среду.

Нуклид - общее название атомов, различающихся числом нуклонов в ядре или, при одинаковом числе нуклонов, содержащих разное число протонов или нейтронов.

Радионуклид – нуклид, обладающий радиоактивностью.

Радиоактивное вещество (РВ) - вещество, имеющее в своём составе радионуклиды, следовательно РВ – источник *ионизирующего излучения (ИИ)*. Ионизировать вещество могут также частицы (фотоны), испускаемые специальными аппаратами, например, рентгеновские аппараты.

Активность радионуклида А в источнике – мера радиоактивности. Она равна числу спонтанных ядерных превращений в источнике, за одну секунду. Единица активности – *беккерель*, Бк. 1 Бк равен одному ядерному превращению (распаду) за 1 секунду: 1 Бк = 1 расп./с. Внесистемная единица – *кюри*, Ки, 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Часто используется удельная активность, Бк/кг, Ки/кг, объёмная активность, Бк/л, Ки/л, поверхностная активность, Бк/м², Ки/м².

Внешнее облучение - облучение тела от находящихся вне его источников ИИ, *внутреннее облучение* тела – от находящихся внутри него источников ИИ.

Поглощённая доза Д – отношение энергии, которую ионизирующее излучение передало веществу, к массе данного вещества. Единица измерения – *грэй*, Гр, 1 Гр = 1 Дж/кг.

Доза эквивалентная – поглощённая доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H_{T,R} = D_{T,R} W_R,$$

где $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани; W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R ; R – индекс вида и энергии излучения.

Единица дозы эквивалентной – зиверт, Зв.

Взвешивающий коэффициент W_R учитывает относительную эффективность различных видов излучений в индуцировании биологических эффектов. Значения его составляют:

1 – для электронного, позитронного, рентгеновского, гамма- и бета-излучений;

20 – для альфа-излучений;

5 – для протонов с энергией более 2 МэВ;

5-20 – для нейтронов с энергией от менее 10 кэВ до и более 20 МэВ.

Доза эффективная – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности:

$$E = \sum_T H_T W_T,$$

где H_T – эквивалентная доза в органе или ткани, T ; W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации.

Единица дозы эффективной – зиверт, Зв.

Значения W_T составляют:

- 0,2 – для гонад;
- 0,12 – для красного костного мозга, толстого кишечника, легких и желудка;
- 0,05 – для мочевого пузыря, грудной железы, печени, пищевода, щитовидной железы;
- 0,01 – для кожи и клеток костных поверхностей;
- 0,05 – для остальных органов.

Если просуммировать индивидуальные эффективные эквивалентные дозы группы людей, то получится коллективная эффективная эквивалентная доза, на основе которой возможна оценка стохастического эффекта воздействия ионизирующих излучений на группы людей.

Предел дозы (ПД) – величина годовой эффективности или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

Предел годового поступления (ПГП) – допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при

многофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

Для фотонного (рентгеновского и гамма – излучения) существует *экспозиционная доза* D_x – отношение заряда одного знака, образовавшегося в данном объёме воздуха, к массе воздуха в данном объёме. Единица измерения – кулон/кг, Кл/кг. Внесистемная единица – рентген, Р, $1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Мощность дозы излучения Р – отношение приращения дозы за некоторый интервал времени к этому интервалу времени; единицы мощности дозы: Гр/с, Зв/с, Р/с.

Естественный радиационный фон - мощность эквивалентной дозы ИИ, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественным образом распределённых в биосфере, в том числе в живом веществе и в организме человека. Для России он составляет 0,1...0,2 мкЗв/ч, что примерно соответствует годовой эквивалентной дозе 0,9 мЗв.

Технологически изменённый естественный радиационный фон - связан с использованием материалов с повышенным содержанием естественных радионуклидов, сжиганием ископаемого топлива, применением сельскохозяйственных удобрений и т.п.

Техногенный или искусственный радиационный фон - сформировавшийся из радионуклидов, возникших при испытаниях ядерного оружия и ядерных авариях и поступающих в биосферу при работе предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) и атомной промышленности.

Значит, люди подвергаются облучению за счёт естественного и искусственного радиационных фонов, а также за счёт медицинских процедур.

Категории облучаемых лиц включают:

- персонал (группы А и Б): А – лица, работающие с техногенными источниками излучения; Б – находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия;

- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – территория вокруг источника ИИ, на которой уровень облучения людей в условиях нормального (штатного) режима работы источника ИИ может превысить установленный предел дозы (ПД). В СЗЗ устанавливается режим ограничений и проводится радиационный контроль дозиметрической службой предприятия.

Зона наблюдения - территория вокруг источника ИИ, где возможно влияние радиоактивных сбросов и выбросов источника ИИ, и облучение проживающего населения может достигать ПД. Радиационный контроль проводится радиологическими службами СЭС.

Уровни воздействия источников ИИ регламентируются *основным документом* – “Нормы радиационной безопасности (НРБ)-99”. Согласно НРБ-99, дозовые пределы не включают в себя дозу, вызванную естественным радиационным фоном, и дозу, получаемую человеком при медицинских процедурах.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в таблице 9.1;
- допустимые уровни многофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;

Таблица 9.1

Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год (1000 мЗв за 50 лет трудовой деятельности)	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год (70 мЗв за 70 лет жизни)
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Основные пределы доз для персонала группы Б равны 1/4 значений для персонала группы А.

Порядок и правила работы с источниками ИИ регламентирует основной документ “Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ) – 99”. Согласно ОСПОРБ-99, к непосредственной работе с источниками ИИ допускаются лица не моложе 18 лет, без медицинских противопоказаний; женщины должны освобождаться от работы с источниками ИИ с момента установления беременности и на период вскармливания ребёнка.

Нарушение НРБ-99 и ОСПОРБ - 99 влечёт дисциплинарную, административную и уголовную ответственности.

9.2.2. Биологическое действие ионизирующего излучения

Согласно современным представлениям механизм биологического действия ИИ можно рассматривать как совокупность первичных физико-химических процессов в молекулах клеток и окружающего их субстрата и последующего нарушения функций целого организма [86-90].

Первичные процессы во многом определяются ионизацией молекул воды (на 75 % организм состоит из воды) с образованием химически высокоактивных радикалов H^* и OH^* , гидратированных электронов и последующими цепными реакциями, в основном, окисления радикалами молекул белка. Помимо этого косвенного воздействия ИИ через продукты радиолиза воды ИИ воздействует и непосредственно - через расщепление молекул белка, разрыв связей, отрыв радикалов и др.

Под действием первичных, физико-химических процессов в клетках возникают функциональные, биохимические изменения. Они могут произойти как непосредственно после акта воздействия ИИ, так и через длительный период времени после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений, которые могут привести к раку. [88].

Наиболее радиочувствительны клетки постоянно обновляющихся тканей: костного мозга, половых желёз, селезёнки и др. Изменения на клеточном уровне и гибель клеток приводят к таким нарушениям в тканях, в функциях отдельных органов и в межорганных процессах, которые вызывают самые различные последствия для организма вплоть до его гибели.

Возможные последствия: соматические эффекты, соматико-стохастические эффекты; генетические эффекты.

Соматические (телесные) эффекты – последствия облучения для самого облучённого, а не для его потомства. Это эффекты могут быть нестохастическими и стохастическими (вероятностными). Первые: поражения, вероятность возникновения и степень тяжести которых растут

с увеличением дозы и для которых существует дозовый порог, например, острая лучевая болезнь, локальное незлокачественное поражение кожи (лучевой ожог) и т.п. Вторые (соматико-стохастические): сокращение продолжительности жизни, злокачественные новообразования и опухоли; считается, что эффекты не имеют дозового порога.

Основные стохастические эффекты – генетические: хромосомные aberrации (изменение числа и структуры генов); доминантные и рецессивные мутации генов (соответственно, проявляются в первом поколении потомков и могут не проявиться на протяжении многих поколений). Типичное проявление радиационного стохастического эффекта: врождённые уродства. Эти эффекты не исключаются при малых дозах облучения и условно не имеют порога. Так, статистически надёжно установлено повышенное содержание клеток крови с хромосомными нарушениями у людей, получающих малые дозы облучения. Выход соматико-стохастических эффектов определяется суммарной накопленной дозой независимо от того, получена она за 1 сутки или за 50 лет.

В связи с радиационным загрязнением важно ответить на ещё не решённые вопросы:

1. Какова зависимость эффекта от дозы при постоянном облучении малыми дозами?
2. Каким образом суммируются для биосистем разного уровня организации малые дозы?
3. Какова вероятность эффектов (рака, стерильности и др.) при уровне радиации, принятом в качестве допустимого?

Лучше изучены последствия облучения сублетальными дозами, то есть не приводящими к смертельному исходу в течение определённого срока наблюдения. Установлено, в частности, повышение частоты сублетальных мутаций, проявляющихся во 2-м и 3-м поколениях; разные виды организмов, а также органы и ткани особей обладают неодинаковой радиорезистентностью. Так, смертельная (50 %-я) доза для бактерий достигает 10 кГр, растений – 1 кГр, членистоногих – 500 Гр. для млекопитающих – от 0,5 до 4 Гр. Минимальная абсолютно смертельная доза для человека составляет 6 Гр. Красный костный мозг и другие элементы кроветворной системы теряют способность нормально функционировать при 0,5-1 Гр, облучения семенников дозой свыше 2 Гр приводят к постоянной стерильности, облучения яичников однократной дозой более 3 Гр – также; почки выдерживают без особого вреда суммарную дозу в 23 Гр, полученную дробно в течение 5 недель, печень – 40 Гр за месяц.

Крайне чувствительны к радиации дети. Небольшие дозы при облучении хрящевой ткани могут замедлить или совсем остановить рост

костей, облучение мозга – к потере памяти, а у очень маленьких детей – к слабоумию и идиотии.

9.1.3. Естественный радиационный фон Земли [86-90]

Источники ионизирующих излучений в биосфере: космическое излучение; излучения естественных радионуклидов, рассеянных в воздухе, воде, почве, земной коре и других объектах окружающей среды; излучения от радионуклидов, образовавшихся при испытаниях ядерного оружия, поступающих в окружающую среду при нештатных режимах работы предприятий и учреждений, в которых обращаются радиоактивные вещества, а также при удалении, сборе, хранении, переработке и захоронении радиоактивных отходов теми же предприятиями.

9.1.3.1. Космическое излучение состоит, в основном, из протонов высоких энергий, приходящих из межзвёздного пространства; солнечного космического излучения, обусловленного солнечными вспышками, при которых возникают излучения в области УФ – и рентгеновского спектров, а также испускаются заряженные частицы, в основном протоны и альфа-частицы; вторичное космическое излучение, образующееся в результате взаимодействия космического излучения с ядрами атомов воздуха (нейтроны, протоны, мезоны, электроны и т.п.).

Суммарная годовая эффективная эквивалентная доза космического излучения на уровне моря составляет 0,03 бэр, или 0,3 мЗв, при этом на ионизирующий компонент приходится 93 % дозы, на нейтронный – 7 %.

Эффективная эквивалентная доза, $H_{эф}$ – сумма средних эквивалентных доз H в различных органах, взвешенных с коэффициентами W .

$$H_{эф} = \sum W \cdot H . \quad (9.2)$$

Коэффициенты W характеризуют отношение риска стохастического эффекта облучения данного органа к суммарному риску стохастического эффекта при равномерном облучении всего тела. В табл. 9.2. приведены значения коэффициентов W .

Таблица 9.2.

Значения взвешивающих коэффициентов

Орган (ткань)	Коэффициент W
Гонады	0,25
Молочная железа	0,15
Красный костный мозг	0,12
Лёгкие	0,12
Щитовидная железа	0,03

Костные поверхности	0,03
Остальные органы и ткани	0,30

Если просуммировать индивидуальные эффективные эквивалентные дозы группы людей, то получится коллективная эффективная эквивалентная доза, на основе которой возможна оценка стохастического эффекта воздействия ионизирующих излучения на группы людей.

9.1.3.2. Ионизирующие излучения естественных радионуклидов. Их в биосфере содержится более 60, они подразделяются на космогенные и первичные.

Космогенные радионуклиды образуются в атмосфере и поступают на поверхность Земли с осадками (Be-7, Na-22 и др.), их вклад (в виде гамма-излучения) в суммарную дозу излучения незначителен (~в 200 раз меньше вклада первичных радионуклидов).

Первичные радионуклиды делятся на радионуклиды уранового и ториевого семейств и радионуклиды вне этих семейств. Главные источники гамма-излучений первой группы: торий-228, астатий-228, свинец-214 и висмут-214. Средняя годовая эквивалентная доза первичных радионуклидов составляет ~ 39 мбэр. Это – за счёт внешнего облучения: от радионуклидов, находящихся во внешней (по отношению к человеку) среде. Поступая внутрь организма с воздухом, пищей и водой, радионуклиды вызывают внутреннее облучение. Установлено, что внутреннее облучение человека за счёт всех естественных радионуклидов составляет ~ 130 мбэр, из которых ~ 100 мбэр приходится на радон-222. Таким образом, эффективная средняя годовая эквивалентная доза облучения от всех естественных источников радиации (они образуют естественный радиационный фон) примерно 200 мбэр.

9.1.4. Радиационное загрязнение биосферы

Одной из его составляющих является технологически изменённый естественный радиационный фон – за счёт поступления в природную среду естественных радионуклидов, извлекаемых из глубин земли вместе с углём, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами и др.. К нему также относят дополнительное облучение при полётах в самолётах, радионуклиды радий-226, прометий-147, тритий, используемые для светосоставов постоянного действия, цветные телевизоры и другие устройства, содержащие радионуклиды или излучающие рентгеновское излучение, радионуклид Po-210, используемый для снятия статического электрического заряда в некоторых

производствах, некоторые пожарные дымовые детекторы, керамическая и стеклянная посуда, содержащая уран и торий и др.

Ряд радионуклидов содержится в сжигаемых углях. Удельная активность угольной золы достигает следующих величин, Бк/кг: 265 – ^{40}K , 200 – ^{238}U , 240 – ^{226}Ra , 930 – ^{210}Pb , 1700 – ^{210}Po и т.д. Индивидуальная средняя годовая доза облучения в районе ТЭС мощностью 1 млн.кВт (район радиусом 20 км) может достигать 0,5 бэр. Эта доза зависит от зольности угля и эффективности очистки дымовых газов от твёрдых частиц (летучей золы).

Значительное количество радионуклидов содержится в удобрениях, применяемых в сельском хозяйстве. После внесения удобрений в почву радионуклиды по пищевым цепям поступают в живые организмы. Так, тройной суперфосфат (производства США имеет удельную активность, Бк/кг: 2100 – ^{238}U , 1800 – ^{230}Th , 780 – ^{226}Ra , азотно-фосфорно-калиевые удобрения (Бельгия): 470 – ^{238}U , 210 – ^{226}Ra , 5900 – ^{40}K .

Предметы широкого потребления – дополнительные источники облучения человека. Так, часы с циферблатом, содержащим радий – 226, создают мощность дозы 0,074 мкГр/час, цветной телевизор – 0,003 мкГр/ч (на расстоянии 2,5 м от экрана).

Огромное количество радионуклидов поступило в биосферу при испытаниях ядерного оружия в 1945-1980г.г. Установлено, что основной вклад в ожидаемую эффективную эквивалентную дозу вносят 21 радионуклид, образовавшихся при испытаниях: ^{14}C , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{144}Cl , ^3H , ^{131}I и др. Полная ожидаемая доза от всех этих радионуклидов составляет 400 мбэр.

Радиоактивные вещества поступают в биосферу на всех стадиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ): добыча и переработка урановых и ториевых руд, обогащение урана изотопом U-235, изготовление ТВЭЛов, получение энергии в ядерных реакторах, переработка отработавшего ядерного топлива, переработка, хранение и захоронение радиоактивных отходов, на всех стадиях необходима транспортировка радиоактивных материалов.

Основные источники потенциальной ядерной опасности – ядерные реакторы. Несмотря на очень высокие требования по безопасной эксплуатации ядерных реакторов, количество нарушений правил эксплуатации весьма высоко, и целый ряд таких нарушений привёл к авариям с катастрофическими последствиями для биосферы: взрыв на предприятии «Маяк» на Северном Урале (1957 г.), аварии на Ленинградской АЭС (1974-1975 г.г.), пожар на Белоярской АЭС (1978 г.), катастрофа на Чернобыльской АЭС (1986 г.), при которой выброс радиоактивных веществ составил более 10^{15} Бк по ^{131}I , авария на

Сибирском химическом комбинате (1993 г.). Аналогичные аварии происходили и в зарубежных странах: Тримайл –Айленд, США, 1979 г., выброс до $5 \cdot 10^{13}$ Бк; Виндскейл, Великобритания, 1957 г., выброс до $5 \cdot 10^{14}$ Бк. Аварии и катастрофы на ядерных объектах – основной аргумент противников развития ядерной энергетики.

При добыче ураносодержащей руды образуются газообразные, жидкие и твёрдые радиоактивные отходы (РАО). Газообразные – в основном за счёт радона-222, до $8 \cdot 10^9$ Бк на 1 т добытой руды. Жидкие отходы определяются шахтными водами, образующимися при дренаже, и водой для технологических целей. Твёрдые отходы – горная порода и руды с низким содержанием урана.

Руда обогащается в процессах грохочения, дробления, измельчения и перевода в растворимый в воде диоксид урана UO_2 . Отходы обогащения в виде суспензии с 50 % - твёрдой фракцией содержат радий и его дочерние радионуклиды, причём до 85 % активности содержится в илистой фракции. Хвостохранилища - источник радиоактивных выбросов и долговременного облучения населения. Облучение можно ограничить, покрыв отвалы, например, асфальтом.

После обогащения урановый концентрат перерабатывают на химических и аффинажно-металлургических заводах с целью извлечения урана и очистки его от примесей. При этом образуются газообразные и жидкие отходы (альфа- и бета-излучатели), но доза облучения от них намного меньше, чем на других стадиях ЯТЦ. Обогащённый уран (в виде оксида урана) – исходное сырьё для производства ядерного топлива в виде таблеток массой до 15 г. Последние размещаются в оболочках из термостойких сплавов. Это – тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). Твэлами загружают активную зону (ядерную «топку») ядерного реактора. Безопасность работы реактора обеспечивается регулированием цепной реакции, охлаждением активной зоны и радиационной защитой.

Регулирование цепной реакции осуществляется путём погружения в активную зону стержней из материалов, поглощающих нейтроны (графит, бор, кадмий).

В активной зоне реактора выделяет огромное количество тепла, отводимое теплоносителем (вода, газ, жидкие металлы) на производство пара. Прекращение подачи теплоносителя в активную зону может привести к расплавлению топлива и серьёзной аварии. В конструкции реакторов предусмотрены решения, исключаящие нарушения подачи теплоносителя. Реактор снабжается также аварийным запасом воды для аварийного охлаждения.

По мере работы реактора в топливе накапливаются высокоактивные продукты деления. Для защиты персонала активная зона реактора и

коммуникации выгрузки отработанного топлива окружены мощным защитным экраном, имеется также система радиоактивных выбросов в штатных и аварийных режимах.

Современные реакторы разделяются на два основных типа: на тепловых нейтронах и на быстрых нейтронах.

Реакторы первого типа: водо-водяные (ВВЭР), паро-водяные (ПВР), водо-графитовые (ВГР, РБМК), графито-газовые (ГГР). В них теплоноситель – вода (пар) или газ (гелий, углекислый газ), замедлитель – вода или графит, топливо – таблетки оксида урана – 238, слабообогащённого ураном-235, способным на самопроизвольную цепную реакцию. Теплоноситель прокачивается через активную зону (первый контур) и полученное в ней тепло передаёт на парогенератор (второй контур). Из него пар подаётся на турбину электрогенератора.

В реакторах второго типа теплоноситель – жидкий натрий, он прокачивается через активную зону и отводит тепло в теплообменник, в котором отдаёт тепло натрию второго контура. Натрий второго контура проходит в парогенератор, испаряя воду третьего контура, пар поступает в турбину электрогенератора. Топливо – уран, обеднённый ураном – 235 (практически чистый уран-238), не «работающий» в тепловых реакторах.

При работе АЭС образуются РАО, часть которых поступает в окружающую среду, поскольку системы очистки не дают 100 %-го эффекта.

Газообразные РАО: радиоактивные благородные газы (РБГ), например, около десяти радионуклидов Kr и Xe – продуктов деления, ^{41}Ar – продукт нейтронной активации ^{40}Ar , содержащегося в воздухе и в теплоносителе. Более 50 биологически значимых радионуклидов содержится в аэрозольных выбросах АЭС.

Жидкие РАО: пульпа ионо-обменных смол, фильтроматериалы, кубовые остатки выпарных аппаратов, в которые поступает загрязнённая радионуклидами вода при эксплуатации или ремонте реактора, дебалансные воды, активность которых создаётся в основном за счёт трития, т.к. система очистки не позволяет извлекать тяжёлую воду из воды.

Твёрдые РАО: отверждённые жидкие концентрированные РАО, детали оборудования реактора, снятые с эксплуатации, отработавшие материалы.

Доза облучения населения зависит от времени, расстояния и типа реактора. Например, расчётная индивидуальная средняя эффективная эквивалентная годовая доза облучения населения от газоаэрозольных выбросов составляет на расстоянии 10 и 100 км. соответственно, для РБМК – 0,135 и 0,00135 мбэр/ГВт; для ВВЭР – 0,0079 и 0,00036 мбэр/ГВт.

Значимый вклад в загрязнение биосферы вносят долгоживущие радионуклиды ^3H , ^{14}C , ^{35}Kr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs и изотопы трансурановых элементов, присутствующие в выбросах и сбросах заводов по переработке облучённого ядерного топлива. Такой завод, перерабатывающий 1500 тонн отработанного топлива, создаёт на расстоянии до 100 км индивидуальную годовую эффективную эквивалентную дозу до 25 мбэр. Кроме того, в окружающую среду могут поступать отходы кислот, химреагентов для обработки жидких РАО, органических растворителей, могущие отравить грунтовые воды на больших территориях.

На конечной стадии ЯТЦ производится захоронение высокоактивных РАО. До сих пор не определены оптимальные способы захоронений. Есть проекты захоронений в глубоких подземных выработках, например, в соляных шахтах, в герметичных ёмкостях глубоко под землёй или на дне океана и т.д. – каждый способ имеет свои недостатки, создающие угрозу глобального загрязнения в будущем. Оптимистические оценки лучших вариантов, например, отверждение отходов с последующим захоронением в геологически стабильных районах, показывают, что заметные количества радиоактивных веществ достигнут биосферы через 10^5 - 10^6 лет.

Облучение человека при медицинских обследованиях и радиационной терапии превышает воздействие всех других искусственных источников. Дозы облучения создаются при рентгеновской диагностике человека и диагностике состояния отдельных органов с помощью радиоактивных фармацевтических препаратов, а также при радиотерапии с использованием радиоактивных источников (Кобальт-60, цезий-137), бетатронов, линейных ускорителей и радиофармпрепаратов.

Максимальная средняя годовая доза от рентгенодиагностических процедур приходится на костный мозг, желудочно-кишечный тракт и всё тело: 1310, 860 и 1386 мкГр, в то же время средняя эффективная эквивалентная годовая доза облучения человека, проживающего в районе с “нормальным” природным радиационным фоном, составляет 2000 мкЗв (200 мбэр).

При радиотерапии поглощённые дозы составляют 20-60 Гр за несколько сеансов.

9.1.5. Экологические последствия радиационного загрязнения биосферы

Радиоактивные вещества, попадая в воду, воздух, почву, включаются в биосферный круговорот. Они представляют опасность как источники

внешнего и особенно внутреннего облучения. Наиболее интенсивно в биологический круговорот включаются тритий, С-14, Р-32, S-35, К-40, Са-4S, Fe-55, Sr-90, Cs-137, радиоизотопы иода, радионуклиды семейства урана и тория. Накапливаясь в растениях, они по пищевым цепям поступают в ткани и органы животных и человека, вызывая внутреннее облучение, особенно опасное для растущих организмов. Многие радионуклиды обладают свойством избирательного накопления в различных органах и тканях в силу совпадения или близости их химических свойств свойствам элементов, которые естественным образом входят в живые организмы. Так, Sr-90, сходный по химическим свойствам с кальцием, переходит из растений в организм сельскохозяйственных животных, затем с мясной или молочной пищей поступает в организм человека и накапливается в костной ткани и костном мозге, вызывая опухоли костей и лейкозы. Близкий к калию Cs-137 накапливается в печени и половых железах, вызывая наследственные изменения в потомстве. В водных экосистемах преимущественную роль играет процесс биоаккумуляции. Например, установлено, что в тканях рыб реки Колумбия концентрация радиоактивного фосфора в 5000 раз выше, чем в самой реке, морской фитопланктон аккумулирует радионуклиды с коэффициентом накопления 10^4 . Последнее говорит о том, что необходимо вводить некоторый коэффициент безопасности по отношению к нормативам загрязнения, установленным на основе представления о пассивном разбавлении сбросов.

В вопросе экологических последствий радиационного загрязнения биосферы ключевым моментом является Чернобыльская катастрофа. Случилось то, что случилось: радионуклидным загрязнением (пусть и неравномерным – пятнистым) охвачена территория радиусом более 2000 км, на которой проживают десятки миллионов человек. Практически навсегда потеряны огромные площади сельскохозяйственных угодий, обширная сеть водных источников. С 1986 г. резко возросло число детей с врождёнными пороками развития, возросла патология пищеварительной, мочевыделительной и эндокринной систем, заболеваемость только раком щитовидной железы у детей в Гомельской области Белоруссии с 1986 по 1992 г.г. возросла в 48 раз, по прогнозам Всемирной организации здравоохранения каждый 4-й житель только Белоруссии на уровне 2000 г. будет иметь злокачественную опухоль. Эта катастрофа, в сущности, - крупномасштабная модель Глобального экологического кризиса, после которой образ всепланетной экологической бифуркации приобрёл, к сожалению, вполне реалистические черты. Цивилизация действительно ввела себя в состояние смертельного эксперимента над самой собой, развитие которого практически уже невозможно остановить, и теперь ей

остаётся, вновь и вновь перебирая оценки, гипотезы, концепции, как лепестки пресловутой ромашки, шептать и шептать – с нарастающим привкусом горечи во рту: будет, не будет, будет, не будет, будет, не будет...

9.1.6. Защита окружающей среды от ионизирующих излучений [59,63]

Защитить окружающую среду от ИИ – обеспечить не превышение предела дозы (ПД) облучения для лиц категории Б, установленного в НРБ-96 (разд. 9.1.1.), и выполнение требований по защите лиц категории В, также установленных в НРБ-96 (разд. 9.1.1.).

Соблюдение ПД достигается регламентацией и контролем допустимых уровней ИИ, установленных в НРБ-96.

При внутреннем облучении: предел годового поступления (ПГП) радионуклида через органы дыхания и пищеварения, допустимая объёмная концентрация (ДК_Б) радионуклида в атмосферном воздухе и в воде. При внешнем облучении: допустимая мощность дозы (ДМД_Б), допустимая плотность потока частиц (ДПП_Б), допустимое загрязнение поверхностей (ДЗ_Б).

Величину ДК_Б вычисляют как отношение ПГП радионуклида к объёму воды или воздуха, с которыми он поступает в организм человека в течение года. Для лиц категории Б объём воздуха – $7,3 \cdot 10^6$ л/год, воды – 800 л/год. В табл. 9.3. приведены значения ПГП и ДК_Б для ⁸⁹Sr.

Таблица 9.3.

Значения ПГП и ДК_Б для ⁸⁹Sr

ПГП, Бк/год		ДК _Б , Бк/л	
Через органы дыхания	через органы пищеварения	в атмосфере	в воде
$2,55 \cdot 10^5$	$3,55 \cdot 10^5$	$3,48 \cdot 10^{-2}$	$4,44 \cdot 10^2$

Значения ПГП через органы дыхания и ДК_Б в атмосфере смеси радионуклидов неизвестного состава составляют 3,7 Бк/год и $3,7 \cdot 10^{-7}$ Бк/л; для воды аналогичные величины: $1,11 \cdot 10^3$ Бк/год и 1,11 Бк/л.

Величина ДМД_Б составляет 2,4 мкЗв/ч – для помещений предприятия и на территории СЗЗ и 0,6 мкЗв/ч – для жилых помещений на территории зоны наблюдения. В расчётах время пребывания в СЗЗ принимается 2000 ч/год, в зоне наблюдения – 8000 ч/год.

Величина ДПП_Б, при которой достигается допустимая мощность дозы ДМД_Б равна $ДПП_{Б} = 2,8 \cdot 10^{-7} ДМД_{Б} / h_{м} \text{ частиц} / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$,

где h_m – удельная максимальная эквивалентная доза ($Зв \cdot см^2/частиц$), значения которой для различных видов излучений приведены в НРБ-96.

На человека могут воздействовать несколько радионуклидов и источников ИИ, создавая внешнее и внутреннее облучение. В этом случае для каждого критического органа должно соблюдаться условие

$$\frac{H_{M\Sigma}}{ПД} + \sum_j \frac{P_j}{ПГП_j} + \sum_k \frac{P_k}{ПГП_k} \leq 1, \quad (9.3)$$

где $H_{M\Sigma}$ – максимальная эквивалентная доза внешнего источника облучения; P_j, P_k – среднегодовые поступления соответственно j -го радионуклида в органы дыхания и k -го радионуклида с рационом (пищевым), а также аналогичное условие для среднегодовой мощности максимальной дозы $\dot{H}_{M\Sigma}$ и среднегодовых концентраций C_j, C_k радионуклидов в воздухе и в рационе.

$$\frac{\dot{H}_{M\Sigma}}{ДМД_B} + \sum_j \frac{C_j}{ДК_{Бj}} + \sum_k \frac{P_k}{ДК_{Бk}} \leq 1, \quad (9.4)$$

При аварийных ситуациях однократное внешнее переоблучение человека при дозе свыше 5ПДД или однократное поступление в организм радионуклидов свыше 5ПДП (предел допустимого поступления) рассматривается как потенциально опасное и должно быть медицински освидетельствовано.

Основные мероприятия по защите населения категорий Б и В: всемерное ограничение поступления в окружающую атмосферу, воду, почву отходов, содержащих радионуклиды и зонирование территории за пределами промышленного предприятия введением СЗЗ и зоны наблюдения.

Для предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики СЗЗ устанавливается специальными нормативными актами. Минимальное расстояние АЭС от города с населением 300 тыс. чел. и более должно составлять не менее 25 км, 500 тыс. чел. и более – не менее 40 км.

Если по результатам длительного наблюдения установлено, что облучение критических групп органов у лиц категории Б не превышает 0,1 ПД, то радиационный контроль за облучением населения может быть сокращён при обязательном сохранении радиационного контроля за источниками выбросов и сбросов со стороны дозиметрической службы предприятия.

Защита населения и окружающей среды от действия источников ИИ достигается соблюдением требований ОСП-72/87. Здесь

регламентированы сбор, удаление и обезвреживание твёрдых и жидких радиоактивных отходов (РАО) и основные требования к проектированию и применению пылегазоочистки выбросов в атмосферу от радионуклидов.

Жидкие, газообразные и твёрдые РАО делятся на слабо -, средне – и высокоактивные.

Слабоактивные (удельная активность $A < 3,7 \cdot 10^5$ Бк/л) и среднеактивные ($3,7 \cdot 10^5$ Бк/л $< A < 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/л) жидкие РАО подвергаются очистке и сбрасываются в окружающую среду, высокоактивные ($A \geq 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/л) – направляются на хранение, а после переработки на захоронение.

На предприятиях допускается сброс радиоактивных сточных вод с концентрацией радионуклидов, превышающей ДК_Б. Но это превышение не должно быть больше десятикратного и при условии, что в коллекторе стоков предприятия обеспечивается десятикратное, по меньшей мере, их разбавление нерадиоактивными стоками предприятия, а суммарный сброс радиоактивных веществ в водоём не превышает установленного предельно допустимого сброса. Допустимые сбросы жидких РАО в водоёмы согласуются с органами Госсаннадзора.

Запрещено удаление жидких РАО всех категорий в колодцы, скважины, поглощающие ямы, поля орошения и фильтрации, системы подземного орошения, а также в пруды, озёра и водохранилища, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы.

При невозможности разбавления, а также при малых количествах (менее 200 л/сут.) жидкие РАО собираются в специальные ёмкости для последующего удаления на пункт захоронения РАО. Если образуется более 200 л/сут., необходима специальная канализация с очистными сооружениями и с возможным повторным использованием в технологических целях. Очистка основывается на известных методах, но во многих случаях представляет самостоятельную задачу [91]. Так, сбросные воды установок для облучения резины, фторопластов, древесины и т.п., где применяется ⁶⁰Со, содержащийся в воде, очищают по следующей схеме: осветление воды (от микродисперсной взвеси) производится на механических фильтрах, имеющих целлюлозно-тканевую насадку; дезактивация осуществляется ионообменными фильтрами: катионитовыми (КУ-2-8) и анионитовыми (АН-2ФГ, АН-18-16, АН-31).

Твёрдые РАО по ОСП-72/87 считаются радиоактивными, если их удельная активность больше $7,4 \cdot 10^3$ Бк/кг для источников α -излучения (для трансурановых элементов $3,7 \cdot 10^2$ Бк/кг); $7,4 \cdot 10^4$ Бк/кг для источников β -излучения; $1 \cdot 10^{-7}$ г-экв.радия/кг для источников γ -излучения.

Если удельная активность твёрдых отходов ниже приведённых значений, то их удаляют с обычным мусором на захоронение. Если

твёрдые РАО имеют повышенную удельную активность и содержат короткоживущие нуклиды с периодом полураспада менее 15 сут., то перед захоронением их необходимо выдерживать в специальных контейнерах до необходимого снижения активности.

Сбор твёрдых РАО должен производиться на местах их образования отдельно от обычного мусора и отдельно, с учётом их природы (неорганические, органические, биологические), периода полураспада (до 15 сут., более 15 сут.), взрывопожароопасности, методов переработки РАО.

Остатки от переработки облучённого топлива, источники излучения, ионитные смолы, использованное оборудование и т.п. подлежат захоронению. Фильтры и обтирочный материал предварительно сжигаются, остатки от сжигания подвергаются захоронению. Удаление РАО производится на специальных пунктах захоронения в контейнерах. Мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от сборника с РАО не должна превосходить 0,1 мЗв/ч. Уровни загрязнения наружных поверхностей транспортных контейнеров и их тары β - частицами не должны превосходить, соответственно 2000 и 200 частиц/(см²·мин.).

Транспортировка РАО к местам захоронения осуществляется на специально оборудованных автомашинах с крытым кузовом или цистерной (для жидких РАО), автомашины и сменные сборники после каждого рейса должны быть дезактивированы.

Если для захоронения низкоактивных РАО допускается использование резервуаров и траншей, то для средне- и высокоактивных РАО предусматривается их захоронение в отверженном состоянии в подземных хранилищах на глубине 300-1000 м. Из-за больших тепловыделений РАО и опасности взрывов такое захоронение не всегда возможно. Проблема захоронения РАО ещё не нашла своего надёжного решения.

По рекомендациям МАГАТЭ низкоактивные радиоактивные пылегазовые выбросы ($A \leq 3,7$ Бк/м³) могут не подвергаться очистке и рассеиваются в окружающей среде через трубы, высота которых обеспечивает соблюдение ДК_Б. Среднеактивные ($3,7$ Бк/м³ < A < $3,7 \cdot 10^4$ Бк/м³) и высокоактивные РАО ($A > 3,7 \cdot 10^4$ Бк/м³) подвергаются очистке пылеуловителями всех типов. Для улавливания высокодисперсных частиц используются фильтры различных конструкций с фильтроэлементами из материала ФПП – фильтры Петрянова [91]. Шламы пылеочистки средне- и высокоактивных выбросов направляют на захоронение.

Для очистки вентиляционных выбросов и технологических сдувок от радиоактивных инертных газов (изотопы криптона, ксенона, аргон-41)

используют адсорбционные колонны или газгольдеры. В последних короткоживущие радионуклиды (как правило, период их полураспада измеряется несколькими часами) снижают свою активность за счёт радиоактивного распада.

Методы радиационного контроля основаны на измерениях параметров ИИ с помощью дозиметрических приборов. Типы и параметры дозиметров устанавливают в зависимости от измеряемой величины и вида ИИ. В табл. 9.4. приведены основные характеристики приборов контроля за радиационной обстановкой [63].

Таблица 9.4.

Основные характеристики приборов контроля за радиационной обстановкой

Тип прибора	Измеряемая величина, пределы измерений	Диапазон энергий излучения, МэВ	Основная погрешность измерения, %	Питание прибора
ДРГЗ-04	Экспозиционная доза, мкР 10 ... 3·10 ⁴	0,03 ... 3	± 15	Сетевое
	Поглощённая доза, мкрад 10 ... 3·10 ⁴	1 ... 25	± 15	-«-
	Мощность экспозиционной дозы, мкР/с 1 ... 3·10 ⁴	0,03 ... 3	± 10	-«-
	Мощность поглощённой дозы, мкрад/с 1 ... 3·10 ³	1 ... 25	± 10	-«-
ДРГ-05	Мощность экспозиционной дозы, мкР/с 0,1 ... 1·10 ⁴	0,04 ... 10	± 15	Аккумуляторное
	Экспозиционная доза, мР 0,1 ... 1·10 ⁴	-	-	-
ДКС-04	Мощность экспозиционной дозы, мР/ч 0,1 ... 150	0,05 ... 3,0	± 25	То же
	Экспозиционная доза, мР 1,0 ... 1024	-	-	-

В табл. 9.5. приведены основные характеристики приборов индивидуального дозиметрического контроля

Таблица 9.5.

Основные характеристики приборов индивидуального дозиметрического контроля

Тип дозиметра	Пределы измерений, Р	Диапазон энергий измеряемого излучения,	Основная погрешность, %	Размеры детектора, мм

		МэВ		
ДК – 02	0,01 ... 0,2	0,15 ... 2,0	± 15	Ø 13 x 114
КИД – 2	0,005 ... 1,0	0,15 ... 3,0	± 15	Ø 17 x 111
КИД – 1	0,02 ... 0,2	0,1 ... 3,0	± 10	Ø 15 x 113
ИФК – 2,3	0,02 ... 2,0	0,1 ... 3,0	± 20	60 x 40 x 6
ИФКУ – 1	0,05 ... 2,0	0,1 ... 1,25	± 25	67 x 33 x 16
ИКС - А	0,5 ... 1·10 ³	0,05 ... 1,25	± 10	Ø 20 x 10

9.2.Защита окружающей среды от электромагнитных загрязнений [63,86]

9.2.1. Естественный электромагнитный фон и связанные с ним процессы в живом веществе.

Электромагнитное (радиоволновое) загрязнение биосферы

Многолетние наблюдения и результаты специальных экспериментов показывают, что электромагнитные поля (ЭМП) космического происхождения (например, ЭМП, возбуждаемые в земной атмосфере «солнечным ветром» – потоками заряженных частиц от Солнца), околоземного происхождения (например, возбуждаемые движением зарядов атмосферного электричества, в том числе при грозовых электрических разрядах), литосферного происхождения (например, постоянное магнитное поле Земли, объясняемое наличием электрических токов в проводящей жидкости земного ядра; ЭМП, возбуждаемые динамическими процессами в земной коре), составляющие естественный электромагнитный фон Земли, играют важную роль в формировании жизненных процессов на Земле. Так, известно влияние солнечной активности, например, магнитных бурь, на биологическую деятельность всех организмов, на рост эпидемий инфекционных заболеваний. Изменение геомагнитного поля значимо коррелирует с годовым приростом деревьев, урожаем сельхозкультур, обострением психических, сердечно-сосудистых заболеваний, числом дорожных катастроф. Это неудивительно: живые организмы постоянно находятся в сфере влияния естественных ЭМП, более того, они функционируют на основе действия очень слабых биоэлектрических токов и потенциалов (микроамперы, милливольты) и биомагнитных полей (нано-и пикотесла).

ЭМП, в частности, ЭМП радиоволновых частот, $0 < f < 6 \cdot 10^{12}$ Гц, сформированные человеком в 19-м – 20 веках в ходе промышленно-технической деятельности, по энергетическим (напряжённости электрической и магнитной составляющих ЭМП, плотность потока энергии ЭМП), и информационным (частотным и временным)

характеристикам могут существенно отличаться от ЭМП естественного фона, к которым человек адаптировался в течение длительного периода эволюции. Так, суммарная напряжённость ЭМП во многих местах земной поверхности возросла по сравнению с естественным фоном на 2-5 порядков. В масштабах эволюционного процесса возникновение интенсивных техногенных ЭМП можно рассматривать как одномоментный скачок с пока неясными биологическими последствиями [34]. Ряд исследователей относят ЭМП к числу сильнодействующих экологических факторов, предполагая что скачкообразный рост их напряжённости может вызвать существенные, даже катастрофические последствия для всего живого. Другие относят ЭМП к мягкодействующим факторам, которые можно устранить путём рационального эколого-гигиенического нормирования [34]. Во всяком случае установлено, что техногенные ЭМП могут вызвать функциональные нарушения, иногда перерастающие в заболевания. Поэтому неизбежна и справедлива постановка вопроса об оптимизации электромагнитных условий в окружающей среде.

В связи с особенностями взаимодействия ЭМП с биологическими объектами диапазон частот радиоволн можно разделить на три поддиапазона:

- 1) $0 \dots 10^6$ Гц – влияние магнитной и электрической составляющих ЭМП на биосферу можно рассматривать отдельно;
- 2) $10^6 \dots 10^9$ Гц – влияние магнитной и электрической составляющих ЭМП на биообъекты разделить невозможно;
- 3) $10^9 \dots 10^{12}$ Гц – указанное влияние разделить также невозможно; в данной области частот на биообъекты всегда действует сформировавшаяся электромагнитная волна.

Эти особенности электрических, магнитных и электромагнитных полей определяют механизмы влияния ЭМП на биообъекты. Так, постоянное магнитное поле приводит к проявлению диа- и парамагнитных эффектов, постоянное электрическое поле – поляризационных эффектов, переменное магнитное поле индуцирует электрический ток в биообъектах, переменное электрическое поле вызывает токи смещения в живом веществе биообъектов.

Основные искусственные источники ЭМП: радиолокационные, радио- и телепередающие станции, электростанции и трансформаторные подстанции, энергосиловые установки, воздушные линии электропередачи (ЛЭП), наконец, телеприёмники, СВЧ-печи, радиотелефоны, компьютеры, широко разветвлённые электрические, в том числе, кабельные сети и др. Как отмечалось, напряжённость техногенных ЭМП на значительных территориях на 2-5 порядков превышает естественный ЭМП-фон

населённой местности – по крайней мере, в отдельных областях радиоволнового диапазона. Суточные колебания техногенного ЭМП изменяют электромагнитную обстановку в биосфере в целом.

Нельзя не обратить внимание на статические электрические поля: на поверхности таких широко распространённых материалов, как линолеум, пластиковые плитки, синтетические ткани одежды образуются большие электрические заряды. Последние способны возбудить огромные напряжённости электростатического поля – до 3000 кВ/м, вызывающие электрический пробой воздуха (напомним, что напряжённость электростатического поля Земли составляет ~ 130 В/м). Эти поля создают своеобразный техногенный фон локальных электростатических полей. То же можно сказать о статических магнитных полях, например, в электрометаллургии, об электрических полях 50 Гц в приземном слое вдоль высоковольтных ЛЭП. Уровни электромагнитных излучений (ЭМИ, радиочастотный диапазон) очень часто превосходят допустимые санитарные нормы: в районах аэропортов, радио- и телестанций, военных, радиотехнических и других объектов. Например, в районе расположения теле- и радиостанции плотность потока энергии достигает сотен Вт/м² при ПДУ в рабочей зоне 10 Вт/м² (в населённой местности ПДУ должен быть на порядки величины меньше).

Можно сказать, что мощный техногенный радиоволновой фон либо значительно сузил зону нормальной жизнедеятельности (толерантности) живого вещества (организмов), либо где-то даже «выдвигает» организмы из этой зоны. Это позволяет полагать электромагнитное (в данном случае – радиоволновое) загрязнение одним из основных экологических факторов антропогенного воздействия на биосферу.

9.2.2. Биологическое действие электромагнитных полей

Природные ЭМП – естественные синхронизаторы ритмов организма. В то же время в периоды солнечных вспышек, когда радиоизлучение Солнца возрастает в 1000 и более раз, данные природные ЭМП фактически выступают в роли десинхронизатора, и у ослабленных людей (с зауженной зоной толерантности) могут обостряться сердечно-сосудистые, психические и другие заболевания.

Техногенные ЭМП, особенно когда их информационные характеристики близки к аналогичным характеристикам биоэлектрической активности органов человека, определённо приводят к десинхронизации функциональных процессов в организме.

Биологический эффект воздействия ЭМП зависит от его частоты, интенсивности, продолжительности, характера и режима облучения. ЭМП

может усилить тепловое движение молекул в живой ткани. Это приводит к повышению температуры тела и может вызвать такие вредные последствия как ожоги, катаракты, нарушения нормального развития утробного плода. Не исключена вероятность разрушения сложных биологических структур (например, клеточных мембран). То есть возможны последствия более тонкие, чем простое повышение температуры, хотя экспериментальных свидетельств этого пока недостаточно.

Больше всего экспериментального материала относится к радиочастотному диапазону. Установлено, что плотности потока энергии больше 100 мВт/см^2 ведут к тепловому повреждению. и к развитию катаракты в глазу, при $10 \dots 100 \text{ мВт/см}^2$ наблюдались изменения, обусловленные термическим стрессом, включая аномалии у потомков, при $1 \dots 10 \text{ мВт/см}^2$ отмечались изменения в иммунной системе. В диапазоне от 100 до 1 мкВт/см^2 достоверно не установлено почти никаких последствий.

Имеются данные о том, что рабочие, длительно работающие в условиях воздействия микроволн или живущие рядом с ЛЭП, могут быть больше подвержены раку, лейкемии, опухолям мозга, рассеянному склерозу и другим тяжёлым заболеваниям. Наиболее чувствительными к воздействию радиоволн являются нервная и сердечно-сосудистая системы.

Клиническая картина хронического действия ЭМП радиочастот такова: сначала появляется головная боль, повышенная утомляемость, раздражительность, нарушение сна, боли в области сердца. Позднее отмечается усиление жалоб: лёгкая возбудимость, нарушение сна, снижение памяти, приступообразные головные боли, головокружения, обмороки, сжимающие боли в области сердца, сужение артерий сетчатки.

В момент приступа наблюдается дрожь, побледнение (покраснение) лица, резкая слабость, нередко повышение температуры тела, подъём артериального давления.

При воздействии СВЧ-излучения развитие катаракты возможно как при кратковременном облучении, так и при длительном воздействии невысоких уровней облучения. Для крови характерна тенденция к лейкоцитозу, возможны изменения со стороны эндокринной системы (гиперфункция щитовидной железы, нарушение функции половых желёз).

9.2.3. Нормирование электромагнитных полей

Для оценки уровня ЭМП используются разные характеристики ЭМП: в диапазоне $0 \dots 300 \text{ МГц}$ используется электрическая и магнитная напряжённости ЭМП (E и H , В/м , А/м), в диапазоне $300 \text{ МГц} \dots 300 \text{ ГГц}$ – плотность потока энергии (ω , Вт/м^2 или мкВт/см^2). Для измерения

напряжённостей ЭМП используют прибор ИЭМП с дипольной и рамочной антеннами и преобразователями для измерения напряжённостей в разных частотных диапазонах, для измерения мощности излучения – прибор ОП-1, снабжённый термисторной головкой и рупорными антеннами.

В настоящее время допустимо считать, что биологический эффект ЭМП в диапазоне 300 МГц ... 300 ГГц слабо зависит от частоты, поэтому обсуждение различных аспектов нормирования в этом диапазоне ведётся на примере СВЧ-полей.

СВЧ-поля проникают в биообъекты на глубину, равную $1/40$ длины волны, поэтому сантиметровые и миллиметровые волны поглощаются, в основном, кожей, при этом большая часть энергии выделяется в виде тепла. Излучения с большими длинами волн проникают глубже и влияют на внутренние органы.

В части биологической эффективности СВЧ-полей достаточно надёжно известно следующее:

1. При ω до 10 мкВт/см^2 стойких генетических нарушений нет.
2. При $\omega \geq 100 \text{ мкВт/см}^2$ бионарушения связаны с повышением температуры тела, особенно нагреваются бессосудистые органы: хрусталик (последствия-катаракта), семенники (импотенция) и т.д., нарушаются также обменные процессы в центральной нервной системе.
3. Тяжесть биоповреждений при воздействии СВЧ-полей в нетепловом диапазоне пропорциональна длительности облучения и степени напряжения адаптационных механизмов к другим факторам среды. При хроническом воздействии нетепловых доз СВЧ-излучения наблюдаются головные боли, быстрая утомляемость, неврозы, нарушения сна, артериального давления, сердечно-сосудистой деятельности, состава крови.

Логика нормирования СВЧ-полей: под ПДУ следует понимать минимальную ω , выше которой в организме возникают стойкие функциональные изменения (то есть в зоне запредельного торможения, см. начало гл. 9). Так, для излучения с $\lambda = 10 \text{ см}$ такие нарушения установлены при $\omega > 1000 \text{ мкВт/см}^2$. Взяв коэффициент запаса, равный 10, можно определить, таким образом, предельно допустимый уровень (ПДУ) = 100 мкВт/см^2 .

Согласно ГОСТ 12.1.006-84 для персонала ПДУ определяется по формуле

$$\text{ПДУ} = \frac{W}{t}, \quad (9.5)$$

где W – нормированное значение допустимой энергетической нагрузки (по [92] - энергетической экспозиции); $W = 200 \text{ мкВт}\cdot\text{ч/см}^2$ для всех случаев облучения, кроме случая вращающихся и сканирующих антенн, когда $W =$

2000 мкВт·ч/см²; t – время пребывания в зоне облучения. Однако значения ПДУ не должны превосходить 1000 мкВт/см² в любых случаях, а при наличии рентгеновского излучения (в пределах норм радиационной безопасности) или температуры выше 28°С ПДУ не должен превосходить 100 мкВт/см². Например, по (9.5.) для случая вращающихся или сканирующих антенн, W = 2000 мкВт·ч/см², для t = 0,1 час величина ПДУ = 2000 (мкВт·ч/см²)/0,1ч. = 20000 мкВт/см², но этот уровень СВЧ-поля недопустим, так как он ограничен величиной 1000 мкВт/см².

Утверждённые в 1996 Госсанэпиднадзором РФ Санитарные правила и нормы – “Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона” [92] в целом подтверждают изложенные позиции нормирования СВЧ-полей по ГОСТ 12.1.006-84.

Напоминаем, что всё изложенное выше по нормированию ЭМИ для диапазона 300 МГц ... 300 ГГц относится к персоналу, или к рабочей зоне.

Для территории жилой застройки, мест отдыха, помещений, рабочих мест лиц до 18 лет и беременных женщин ПДУ составляет 10 мкВт/см², а для случая облучения населения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования – 100 мкВт/см². [92].

Таблица 9.6.

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазон частот	По электрической составляющей $\mathcal{E}_{\text{э ПДУ}},$ (В/м) ² ·ч	По магнитной составляющей $\mathcal{E}_{\text{м ПДУ}},$ (А/м) ² ·ч	По плотности потока энергии $\mathcal{E}_{\text{ППЭ ПДУ}}$ (мкВт/см ²)·ч
30кГц ... 3МГц	20000	200	200
3МГц ... 30МГц	7000	не разработаны	
30МГц ... 50МГц	800	0,72	
50МГц ... 300МГц	800	не разработаны	
300МГц ... 300ГГц			

Таблица 9.7.

Максимально допустимые значения интенсивности ЭМИ

Величина единицы измерения	Диапазон воздействия ЭМИ			
	30 кГц300 МГц	3 МГц30 МГц	30 МГц300 МГц	300 МГц300 ГГц
E _{ПДУ} , В/м	500	396	80	
H _{ПДУ} , А/м	50	3	3	

ППЭ _{пду} , мкВт/см ²			(для 30...50МГц)	1000
--	--	--	------------------	------

Для всего диапазона радиочастотных ЭМИ (300МГц ... 300ГГц) значения предельно допустимых энергетических экспозиций по электрической и магнитной составляющим, а также по плотности потока энергии (соответственно ЭЭ_{э пду}, ЭЭ_{м пду}, ЭЭ_{ппэ пду}) для персонала [92] представлены в табл. 9.6., максимально допустимые значения интенсивности ЭМИ для персонала – в табл. 9.7. [93].

ПДУ ЭМИ радиочастот для населения [92] приведены в табл. 9.8. и 9.9. [93].

Таблица 9.8.

ПДУ ЭМИ для населения

Места нахождения людей	Участок диапазона, единица измерения				
	30 кГц300 кГц, В/м	0,3 МГц3 МГц, В/м	3 МГц30МГц, В/м	30 МГц300 МГц, В/м	300 МГц300 ГГц, мкВт/см ²
Территория жилой застройки, места отдыха, помещения, рабочие места лиц до 18 лет и беременных женщин	25	15	10	3*	10 100**

* - кроме телевизионных (см. табл. 9.9.) и радиолокационных станций, работающих в режиме кругового обзора (сканирования)

** - для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования.

Таблица 9.9.

ПДУ ЭМИ радиочастот, создаваемые телевизионными станциями

Частота ТВ-станции, МГц	48,4	88,4	192	300
Напряжённость, Е (В/м)	5,4	4,0	3,0	2,5

Низкочастотные ЭМП (0 ... 10кГц) представляют собой значимый экологический фактор. Так, геомагнитное поле (ГМП) защищает живое вещество планеты от электрически заряженных частиц космического происхождения, и существенное изменение ГМП может привести к дестабилизации биосферы, причём не на энергетическом, но на

информационном уровне: например, сезонная миграция большого числа разнообразных животных связана с их способностью ориентироваться по силовым линиям ГМП.

Низкочастотные магнитные поля в связи с практическим отсутствием ослабления тканью живого вещества оказывают влияние на все органы, ткани, клетки, молекулы биообъекта. Так, хроническое воздействие магнитного поля 50 Гц напряжённостью около 640 А/м приводит к возрастанию летальности лабораторных животных (на 20 %) и к напряжению адаптационных процессов в системе надпочечных желёз, снижению половой потенции у самцов белых мышей. Низкочастотные электрические поля экранируются и ослабляются живыми организмами, но отрицательно влияют на физиологическое состояние животных: поражаются кожа, волосяной покров, семенники, стимулируется развитие онкозаболеваний, импотенции, стерильности.

В качестве ПДУ ЭМП 50Гц – основной источник ЭМП 50Гц – воздушные линии электропередачи (ЛЭП) – приняты следующие значения напряжённости электрического поля, кВ/м [94]: в жилых помещениях – 0,5; в зоне жилой застройки – 1,0; в населённой местности, вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зелёные зоны, земли посёлков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населённых пунктов в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов – 5; на участках пересечения ЛЭП с автомобильными дорогами I – IV категорий – 10; в ненаселённой местности (незастроенные местности, даже часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельхозугодья) – 15; в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельхозмашин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения, 20 кВ/м.

Для зон около радиотехнических объектов и телевизионных станций СВЧ-диапазона в основу нормирования положены «Санитарные правила ...» [92].

При одновременном воздействии нескольких источников суммарное значение параметров ЭМП, например, напряжённости электрической составляющей ЭМП, определяется из соотношения

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2} , \quad (9.6.)$$

где E_1, E_2, \dots, E_n – напряжённости электрического поля, создаваемые каждым передатчиком в контролируемой точке данного диапазона, В/м.

Суммарная плотность потока энергии, ω , от n источников на прилегающей территории для диапазона частот ЭМИ 300МГц ... 300ГГц равна

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n . \quad (9.7.)$$

При наличии нескольких источников излучения, работающих в разных радиочастотных диапазонах, напряжённости поля E_1, E_2, \dots, E_n , создаваемые n источниками ВЧ, и плотности потока энергии $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, создаваемые N источниками СВЧ, на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) должны соответствовать требованию

$$\left(\frac{E_1}{E_{\text{ПДУ}_1}} \right)^2 + \left(\frac{E_2}{E_{\text{ПДУ}_2}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{E_n}{E_{\text{ПДУ}_n}} \right)^2 + \frac{\omega_1}{\omega_{\text{ПДУ}_1}} + \frac{\omega_2}{\omega_{\text{ПДУ}_2}} + \dots + \frac{\omega_n}{\omega_{\text{ПДУ}_n}} \leq 1, \quad (9.8.)$$

9.2.4. Защита персонала от радиоволнового облучения [93]

Она производится путём экранирования, ограничения мощности источника, сокращением времени работы в условиях облучения, увеличением расстояния между работающим и источником. При планировании работ намечаются нужные мощности источника и расстояния, чтобы не превышать допустимого уровня при длительной работе. Эффективное средство защиты – дистанционное управление излучателем. При работе с излучателем заранее известной мощности и при известном расстоянии необходимо определить допустимое время работы, чтобы не было переоблучения.

Эффективна защита экранами, наиболее рационально экранирование генераторов и фидерных линий. Рабочие места экранируют поглощающими сетчатыми и эластичными экранами. Индивидуальные средства: защитная одежда, защитные очки, халаты, отражающие ЭМП.

Защита от ЭМИ 50 Гц осуществляется экранированием поля и ограничением времени пребывания в нём.

При кратковременной работе в условиях действия электрических и магнитных полей (табл. 9.10.) рекомендуются [95] следующие граничные значения: безопасные напряжённости – 30 кВ/м (пребывание в электрическом поле до 2ч в сутки), 10^4 А/м (пребывание в магнитном поле 5 мин в час по нормам DIN VDE 0848); допустимые напряжённости – 10 кВ/м и 800 А/м (пребывание в обоих полях несколько часов в сутки по нормам В03, РРА). Данные предельные значения отличаются от нормативов РФ: допускается длительное пребывание в поле напряжённостью до 5 кВ/м, не разрешается пребывание в поле с напряжённостью более 25 кВ/м без защитных средств; в интервале напряжённостей от 5 до 20 кВ/м время пребывания t ограничивается в соответствии с формулой

$$t = \frac{50}{E} - 2(\text{час}), \quad (9.9)$$

где E , кВ/м – напряжённость электрического поля.

ПДУ напряжённости магнитного поля 50 Гц в зависимости от продолжительности и режима воздействия (непрерывный или прерывистый) находятся в пределах 1,4 ... 10 кА/м.

Таблица 9.10.

Электрические и магнитные поля 50Гц разных объектов [95]

Наименование параметра или объекта	Напряжённость электрического поля, В/м	Напряжённость магнитного поля, А/м
ОРУ 500, 750 кВ	$10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	10 ... 100
ЛЭП 380 кВ	$10^3 \dots 10^4$	1 ... 4
ЛЭП 330 кВ	$10^3 \dots 5 \cdot 10^3$	10 ... 100
ВЛ 6 – 35 кВ	$10 \dots 5 \cdot 10^2$	0,1 ... 2
Шинный мост 6кВ	10^3	40 ... 100
ЗРУ 6кВ	-	200
Жилые помещения	1 ... 100	0,01 ... 0,5
Электробытовые приборы	5 ... 500	0,1 ... 300
Порог индивидуальной восприимчивости	$10^4 \dots 2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^4$
Электрическая прочность воздуха	$5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	-
Расчётные и экспериментальные безопасные напряжённости по условиям возбуждения клеток организма	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$
Нормативные напряжённости по данным ВОЗ, ICRP, с учётом других возможных воздействий на организм	$5 \cdot 10^3$	80
То же по данным DIN VDE 0848	$7 \cdot 10^3$	320

Перспективные методы защиты персонала от воздействия импульсных ЭМИ: использование частотно-избирательных пространственно-распределённых аттенюаторов, широкополосных согласующих устройств, поглощающих подстилающих поверхностей,

индивидуальной защитной одежды (комбинезоны и халаты из металлизированной ткани; очки марки ЗП5-90), электрогерметизации элементов схем, блоков, узлов и установки в целом, экранирования рабочего места, увеличения высоты подвеса фазных проводов ЛЭП, уменьшения расстояния между ними и др.

9.2.5. Мероприятия защиты населения от ЭМИ

Трудностей защиты населения не меньше, а возможно, и больше чем для лиц, связанных с ЭМИ на производстве: отсутствие надёжного экранирования от ЭМИ, высокая степень влияния на формирование ЭМИ металлических переотражающих предметов, соизмеримость размеров тела и органов человека с долями длин излучаемых волн, эффект кумуляции и др. непосредственно отражаются на здоровье человека.

Основной путь защиты от ЭМИ в окружающей среде – защита расстоянием. Для соблюдения нормативных ПДУ для ЭМИ в населённой местности планировочные решения при размещении радиотехнических объектов (РТО) выбирают с учётом мощности передатчиков, характеристики направленности, высоты размещения и конструктивных особенностей антенн, рельефа местности, функционального значения прилегающих территорий, этажности застройки. Площадка РТО оборудуется согласно строительным нормам и правилам, на её территории не допускается размещение жилых и общественных зданий. Для защиты населения от воздействия ЭМИ устанавливаются – при необходимости – санитарно-защитные зоны (СЗЗ) и зоны ограничения застройки. Внешняя

Таблица 9.11.

Размеры СЗЗ типовых передающих радиостанций

Мощность одного передатчика, кВт	Наименование объекта	Санитарно-защитная зона, м
Малой мощности – до 5	Длинноволновые	10
	Средневолновые	20
	Коротковолновые	175
Средней мощности – от 5 до 25	Длинноволновые	10-75
	Средневолновые	20-150
	Коротковолновые	175-400
Большой мощности – от 25 до 100	Длинноволновые	75-480
	Средневолновые	150-960
	Коротковолновые	400-2500
Сверхмощные – свыше 100	Длинноволновые	Более 480
	Средневолновые	Более 960

	Коротковолновые	Более 4500
--	-----------------	------------

граница СЗЗ определяется на высоте 1,8-2 м от поверхности земли по нормативным ПДУ [92]. Зона ограничения застройки – территория, где на высоте более 2 м от поверхности земли превышает нормативный ПДУ. Внешняя граница этой зоны определяется по максимальной высоте зданий перспективной застройки, на уровне верхнего этажа которых уровень ЭМИ не превышает нормативного ПДУ.

Размеры СЗЗ и зоны ограничений определяют по методикам Правил СН 2963-84, границы зон уточняют на основе измерений при приёмке объекта в эксплуатацию.

В табл. 9.11. представлены размеры СЗЗ типовых передающих радиостанций.

В табл. 9.12. приведены размеры СЗЗ типовых телецентров и телевизионных ретрансляторов

Таблица 9.12.

Размеры СЗЗ типовых телецентров и телевизионных ретрансляторов

Мощность одного передатчика, кВт	Количество программ	Суммарная мощность объекта с учётом УКВ и ЧМ вещания, кВт	Санитарно-защитная зона, м
Малой мощности до 5/2,5	Одна	до 10	В пределах технической территории
Средней мощности до 25/6,5	Одна	до 75	200-300
Большой мощности до 50/15	Две	до 160	400-500
Сверхмощные-свыше 50/15	Три	Порядка 200	500-1000

В табл. 9.13. приведены размеры СЗЗ типовых радиолокационных станций.

Таблица 9.13.

Размеры СЗЗ типовых радиолокационных станций

Наименование радиолокационной станции	Высота установки антенны, м	Санитарно-защитная зона, м
1	2	3

Метеорологические локации		
МРЛ – 1,2	12,0	3000
Метеорит – 2	8,0	300
Метеорит – 1	8,0	250
Метеорит	4,5	350
МРЛ-5: 2 канал	12,0	2700
1 канал	12,0	5000

1	2	3
РМП – 1	12,0	28000
АРС – 3м	12,0	4000
Радиодождь: 1 канал	12,0	1600
2 канал	12,0	3600
СОН – 4	12,0	700
РМП – 2	12,0	500
АРС – 3	4,5	400
Обзорные радиолокаторы типа «Сатурн»	8,5	3000 при нулевом угле наклона антенны

В табл. 9.14. приведены размеры СЗЗ и расстояния от границы населённых пунктов до высоковольтных ЛЭП

Таблица 9.14.

Размеры СЗЗ и расстояния от границы населённых пунктов до высоковольтных ЛЭП

Расстояние, м	Напряжение высоковольтных ЛЭП, кВ
1. Размеры СЗЗ (при напряжённости более 1кВ/м: 75 (20*) 150 (30) 250 (40) 300 (55)	330 500 750 1150
2. До границы населённых пунктов: 250 300	750 1150

* Значения в скобках допускаются в сельской местности при ограничении длительности работ, заземлении машин, инструктаже населения.

При проектировании жилых и административных зданий, расположенных в зоне действия ЭМИ, учитывается экранирующая способность строительных конструкций. Так, ЭМИ с длиной волны $\lambda = 3$ см при прохождении кирпичной стены толщиной 70 см ослабляется на 21 дБ, то есть плотность потока мощности уменьшается более чем в 100 раз.

Напряжённость ЭМП ЛЭП может быть уменьшена удалением жилой застройки от ЛЭП, применением экранирующих устройств (железобетонные заборы), посадкой деревьев и кустарников высотой не менее 2 м.

Машины и механизмы на пневмотическом ходу, находящиеся в СЗЗ ЛЭП, должны быть заземлены, например, посредством металлической цепи, соединённой с кузовом (рамой) машины и касающейся земли.

Напряжённость электрического поля в зданиях, оставляемых в СЗЗ высоковольтных ЛЭП напряжением свыше 330 кВ и имеющих неметаллическую кровлю, может быть снижена установкой заземлённой металлической сетки на крыше зданий, заземлять сетку необходимо в двух местах. Если кровля здания металлическая, её также заземляют в 2-х местах. Сопротивление заземления не нормируется.

При проведении строительно-монтажных работ в СЗЗ ВЛ необходимо заземлить протяжённые металлические объекты (например, трубопроводы) не менее чем в 2-х точках, сопротивление заземления не нормируется.

В период проведения сельскохозяйственных и других работ вблизи ЛЭП лица, ответственные за организацию работ, должны провести инструктаж с работающими и обеспечить выполнение мер защиты от ЭМП, которые регламентированы Санитарными нормами и правилами.

На территории СЗЗ ЛЭП напряжение 750 кВ и выше запрещено выполнение сельскохозяйственных и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

Для ограничения уровня ЭМП, воздействующих на окружающую среду, могут быть использованы средства, указанные в ГОСТ 12.1.006-84 и применяемые для уменьшения уровня ЭМП в цехах предприятий: экранирование оборудования, специальная облицовка потолка и стен рабочих помещений на основе материалов с большим содержанием углерода. Для снижения излучаемой мощности поля важен правильный выбор типа оборудования, генерирующего ЭМИ.

При эксплуатации техники высоких и сверхвысоких частот важно обеспечить надёжную радиогерметизацию разъёмных и неразъёмных соединений. В настоящее время для этого используются полимерные ферромагнитные материалы.

Появились новые средства ЭМ-защиты и профилактики, среди наиболее доступных и эффективных следует считать: оснащение помещений аппаратами аэроионопрофилактики «Элион-132», установку на экраны новейших отечественных экранов «Синко», применение специальных спектральных очков для постоянной работы, приём витаминных препаратов (например, «Золотой шар», «Нагипол») [93].

Совокупность этих средств позволит уменьшить вероятность нервно-психических расстройств, стрессов, сбоев, замкнутости, вредного действия всех видов электромагнитных полей.

9.2.6. Защита окружающей среды от тепловых загрязнений

По распространению и по масштабам воздействия тепловое загрязнение – один из наиболее крупных видов физического загрязнения окружающей среды: с довольно большой степенью достоверности можно считать объёмы потребления энергопотребителем топлива, горячей воды, пара одновременно и объёмами теплового загрязнения прилегающего района. Динамика теплового загрязнения в мире от энергетических производств представлена в табл. 9.15. [76].

Таблица 9.15.

Динамика теплового загрязнения в мире от энергетических производств

Показатель	1972 г.	1986 г.	2000 г.
Мощность потока теплового загрязнения, млн. МВт	6,0	9,6	32,0
Отвод тепла в окружающую среду в год, млн. Гкал	45200	72300	241000

Температура – пожалуй, важнейший из абиотических факторов, влияющих на процессы в мире микроорганизмов, на выживание животных и растений. Последнее сегодня особенно актуально для водной фауны и флоры, поскольку по сложившейся технологии сброса избыточного тепла значительная его часть отводится в водоёмы, что при относительно малом объёме поверхностных вод (средний расход планетарного поверхностного стока составляет $\sim 1,24 \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{с}$) приводит к их значимому подогреву.

Для каждого вида существует свой интервал температур, благоприятный для обитания (диапазон толерантности по фактору температуры, гл.2). Для любого конкретного вида диапазон переносимых температур относительно узок, в некоторых случаях – крайне узок, до нескольких градусов по Цельсию [85]. У теплокровных животных развит набор механизмов для поддержания тела в требуемых температурных

пределах, в том числе, механизм поведенческого регулирования температуры: например, рыба, перемещаясь, находит место с оптимальной для неё температурой. Организмы же, не способные перемещаться (укоренённые растения, взрослые устрицы) находятся в полной зависимости от температуры окружающей воды, и таких организмов много, если не большинство. Но даже рыбы могут стать жертвой теплового загрязнения: привыкнув к подогретой воде, они оказываются беззащитными перед водой с естественной температурой, например, зимой, когда ТЭС по каким-либо причинам временно прекращает тепловые сбросы в реку (ремонт и т.п.).

Однако менее очевидные эффекты могут иметь более серьёзные последствия, например, влияние температуры на репродуктивную функцию организмов. Так, форели необходимы низкие температуры воды летом для формирования нормальных, жизнеспособных икринок. Взрослые особи способны выжить в тёплой воде, но они не смогут размножаться. Другой пример: повышение температуры может вызвать раннее вылупление насекомых из яиц – раньше, чем в обычных, без нагрева воды, условиях. Затем они погибают, так как в это время года пища для них «ещё не готова» [85]. В перспективе такие и подобные эффекты могут стать более губительными для популяции, чем непосредственная гибель от перегрева воды. Температура может оказывать воздействие на структуру всего водного сообщества. Например, изменение температуры может изменить конкурентные позиции различных видов. В целом, повышение температуры ведёт к упрощению водных сообществ, то есть число различных видов уменьшается, хотя количество представителей отдельных видов может быть велико. В исследованиях показано, что при 31°C число видов уменьшалось вдвое, чем при 26°C, при повышении температуры до 34°C исчезли ещё 24 % видов. Повидимому такие экосистемы гораздо менее устойчивы, чем исходная, более сложная экосистема.

Проблема теплового загрязнения имеет два измерения: глобальное (планетарное) и локальное. Можно допустить, что в глобальном масштабе это загрязнение (уровень 2000 г.) пока невелико и составляет лишь 0,019 % от поступающей на Землю солнечной радиации: $\sim 1,68 \cdot 10^5$ млн. МВт [2]. То есть ситуация находится в рамках правила одного процента [2]. Правда, для глобальных систем, таких, как биосфера, их энергетика, повидимому, не может превзойти уровень примерно 0,2 % от поступающей солнечной радиации (уровень энергетики фотосинтеза) без катастрофических последствий [2]. Но ожидаемая в 2000 г. антропогенная энергетика (32 млн. МВт пока ещё меньше энергетики фотосинтеза (~ 100 млн. МВт),

хотя по порядку величины фактически достигла данного принципиального порога.

Гораздо более впечатляюще локальные очаги теплового загрязнения в промышленных районах. Так, плотность потока антропогенного тепла от Земли на территории ФРГ, в среднем, составляет $1,6 \text{ Вт/м}^2$ (в 1973г. 33 % этого тепла приходилось на коммунальную сферу, 25 % - на электрические станции, 29 % - на промышленность, 13 % - на транспорт), в Вестфалии – $4,5 \text{ Вт/м}^2$, в Руре – 17 Вт/м^2 , в Берлине 22 Вт/м^2 , в центре Манхеттена – 630 Вт/м^2 , в зоне бумажной фабрики – 2000 Вт/м^2 , на угольной ТЭС 1000 МВт – 24000 Вт/м^2 [75]. Заметим, что максимальная плотность потока солнечной радиации вблизи поверхности Земли составляет $\sim 935 \text{ Вт/м}^2$ [79]. Значит, тепловое загрязнение по ФРГ составляет, в среднем, 0,17 % от падающей на Землю радиации, а на отдельных территориях (в Руре, например) достигает 2 %. На основании этих данных легко представить, какого уровня достигнет тепловое загрязнение Земли, если все страны будут продвигаться к уровню энергопотребления, достигнутому в ФРГ. Тем более, что существуют мнения, что пороговой величиной для антропогенной энергетики является величина 0,1 % от падающей на Землю солнечной радиации [80], а не 0,2 % по [2].

В большинстве промышленных стран установлены пределы теплового загрязнения. Они относятся, как правило, к режимам водоёмов, так как по сложившейся технологии отвода «тепловых отходов» водоёмы (реки, озёра, моря) принимают основную часть сбросного тепла и наиболее страдают от теплового загрязнения. В Европе принято, что вода водоёма не должна подогреваться больше, чем на 3°C по сравнению с естественной температурой водоёма. В США нагрев воды в реках не должен превышать 3°C , а озёрах – $1,6^\circ\text{C}$, в прибрежных водах морей и океанов – $0,8^\circ\text{C}$ летом и 2°C в остальное время [77]. В России, согласно «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», действующим с 1975 г., температура воды в водоёмах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения не должна повышаться более чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца в последние 10 лет. Для водоёмов, в которых обитают холодноводные рыбы (лососевые и сиговые), температура не должна повышаться более чем на 5°C с общим повышением не более, чем до 20°C летом и 5°C зимой.

В настоящее время около 30 % энергопотребления приходится на электроэнергетику, 35 % на отопление и горячее водоснабжение, 30 % - на технологическое потребление тепла. Согласно статистике из всех тепловых сбросов 18 % приходятся на отходы использования тепла, 22 %

– отопления и горячего водоснабжения и 42 % - теплоконденсации на ТЭС. Первый и третий виды сбросов, как правило, отводят непосредственно в атмосферу, вторые и четвёртые – через системы водяного охлаждения. Напомним, что внедрение установки Геллера (гл.7) позволяет отвести значительную часть потока теплового загрязнения от водоёмов и направить её в атмосферу. Хотя общий поток теплового загрязнения биосферы при этом остаётся неизменным, но тепловая нагрузка на водоёмы ощутимо уменьшается, и облегчается участь водных сообществ (экосистем). И участь весьма нелёгкая. Так, в Нарвском водохранилище при сбросе подогретых на 8-10°C вод тепловое загрязнение охватывает зону радиусом 10км [81, 82]. В реках тепловое загрязнение, связанное с повышением температуры на 8-10°C, сохраняется неизменным примерно на расстоянии 2км вниз по течению, затем температура начинает снижаться [83].

Если говорить о масштабах теплового загрязнения атмосферы, то показательны такие оценки: от промышленного центра с населением 2 млн. человек, с электростанциями суммарной мощностью 4600 МВт и нефтехимическими заводами шлейф тепловых загрязнений распространяется на 80-120 км при ширине зоны загрязнения 50 км и высоте около 1 км [84].

Борьба с тепловым загрязнением с инженерной точки зрения идентична работе по энергосбережению. Чем на более высоком уровне находится энергосберегающая политика и работа, тем более интенсивно ведётся борьба с тепловым загрязнением. Положим, если бы удалось благодаря внедрению источников освещения с высокой светоотдачей и систем автоматического отключения источников уменьшить электропотребление на нужды освещения в 2 раза, то соответственно примерно в 2 раза уменьшилось бы и тепловое загрязнение, связанное с данным сектором энергопотребления. И так обстоит дело в любом секторе энергопотребления: в системе отопления жилых и производственных помещений, в сфере транспорта, в промышленных отраслях.

В проблеме теплового загрязнения присутствует и, повидимому, будет присутствовать такой аспект: всегда стремиться найти полезное применение тепловым отходам, а не просто сбрасывать тепло. Ниже приведены некоторые достаточно привлекательные способы утилизации тепловых отходов электростанций [85].

1. Орошение сельскохозяйственных земель (правда, это ведёт к возрастанию безвозвратных потерь воды, гл. 7).
2. Использование в тепличном хозяйстве.
3. Подогрев свежей воды, поступающей на электростанцию, для предупреждения осаждения солей на стенках трубопроводов.

4. Поддержание северных морских гавней в свободном ото льда состоянии.
5. Перегонка мазута и других тяжёлых нефтепродуктов.
6. Аквакультура – разведение рыб для вылова, выращивание теплолюбивых видов в северных районах.
7. Получение дополнительной электроэнергии, например, с помощью термоэлементов.
8. Защита животных в природе путём устройства подогреваемых зимой прудов для водоплавающей птицы.
9. Ликвидация туманов и очистка посадочных и рулевых дорожек при обеспечении безопасности в аэропортах.

9.3. Защита окружающей среды от виброакустических загрязнений

9.3.1. Источники виброакустических воздействий

Изменение виброакустических параметров окружающей среды связано с возникновением либо малых механических колебаний (вибраций) в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, либо упругих колебаний (звуковых, или акустических полей) в твёрдой, жидкой или газообразной среде вследствие воздействия на среду какой-либо возмущающей силы. Так, крыльчатка вентилятора передаёт энергию молекулам воздуха, которые, в свою очередь, передают энергию соседним молекулам и т.д. – в воздушной среде возникают колебания: в каждой точке окружающего воздушного пространства на постоянное атмосферное давление накладывается периодическая (апериодическая) составляющая давления, которую слуховой аппарат человека воспринимает как звук. Если последний нежелателен для человека, то это – шум.

Деятельность человека в биосфере сопряжена с невольным и всё возрастающим производством ненужных для людей, фауны, флоры звуков – шумов, а также вибраций.

Шум в окружающей среде – в жилых и общественных зданиях, на прилегающих к ним территориях, в городской среде, в целом, вызывается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания: средства транспорта, оборудование предприятий, вентиляторы, компрессорные установки, станции для испытания двигателей и генераторов, аэрогазодинамические установки, средства аудиотехники, санитарно-техническое оборудование жилых зданий, электрические трансформаторы. Нарастание шума происходит и вне городской среды: шум наземного, водного, воздушного транспорта,

сельхозмашин, ЛЭП, ветровых электростанций, мобильных средств аудиотехники. Очевиден шумовой прессинг на всё живое: растительный и животный мир (дикие виды), на человека.

В городе интенсивность шума каждые 25-30 лет возрастает примерно в 10 раз, т.е. на 10 децибел (дБ). Человек реагирует на шум в зависимости от субъективных особенностей организма, привычного шумового фона. Раздражающее действие шума зависит от его уровня, спектральных и временных характеристик. Считается, что даже шумы с уровнем ниже 60 дБ вызывают нервное раздражение, и существует прямая связь между уровнем шума в городах и увеличением числа нервных заболеваний [63]. Специфическим характером воздействия на организм человека отличаются инфразвуковые волны. Они могут иметь естественное (обдувание сильным ветром крупных неоднородностей ландшафта, строительных сооружений, водных поверхностей) или искусственное происхождение (механизмы с большой поверхностью с числом рабочих циклов не более 20 в секунду, реактивные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, турбины, вентиляторы, компрессоры и другие установки, создающие большие турбулентные массы потоков газов, транспорт) [63].

Источники вибраций: оборудование ударного действия (молоты, машины для забивания свай под фундаменты зданий), рельсовый транспорт, мощные энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), инженерное оборудование зданий (лифты, насосные установки), системы отопления, канализации. Вибрации, часто сопровождаемые звуковыми колебаниями, распространяются по грунту и достигают фундаментов жилых и общественных зданий, инженерных сооружений. Это может вызвать неравномерность осадки грунта и фундамента, особенно при высокой насыщенности грунта влагой, и разрушение размещённых на них зданий и сооружений.

Во всех случаях вибрации вызывают раздражающее действие и помехи для работы в производственных, общественных и жилых зданиях. Протяжённость зоны воздействия вибрации в окружающей среде определяется интенсивностью (амплитудой) вибрации источника (фундамента машины), а также величиной затухания вибрации в грунте и может достигать 150-200 м [63].

9.3.2. Характеристики и биологическое действие виброакустических колебаний. Нормирование

9.3.2.1. Акустические колебания

Акустические колебания в диапазоне 16 Гц ... 20 кГц, воспринимаемые человеком, называются звуковыми, с частотой менее 16 Гц – инфразвуковыми, выше 20 кГц – ультразвуковыми.

Энергетическая характеристика звуковых волн – интенсивность, или – что то же – плотность потока энергии, в акустике обычно обозначается как J , Вт/м².

В каждой точке пространства, в котором распространяются звуковые волны, давление среды изменяется во времени. Разность между его мгновенным значением и средним значением, наблюдаемым в невозмущенной среде, то есть переменная составляющая, называется звуковым давлением, P , Па. На слух действует средний квадрат звукового давления

$$\bar{P}^2 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} P^2(t) dt, \quad (9.10)$$

где T_0 – время осреднения (черта над P и означает осреднение) звукового давления в слуховом аппарате человека, $T_0 = 30 - 100$ мс. Интенсивность звуковой волны (волн) связана с \bar{P}^2

$$J = \frac{\bar{P}^2}{\rho c}, \quad (9.11)$$

где ρ , c – плотность среды, в которой распространяются звуковые волны, и скорость распространения звуковых волн в данной среде.

Величины интенсивностей звуковых волн, которые наблюдаются в практической деятельности, могут изменяться в очень широких пределах, до 10^{16} раз. Измерять интенсивность в таких пределах – сложно, а главное – ощущение человека, возникающие при воздействии звуковых волн, пропорциональны логарифму количества энергии раздражителя. Поэтому пользуются логарифмическими величинами – уровнем интенсивности звука L_J и уровнем звукового давления L , измеряемыми в децибелах

$$L_J = 10 \lg \frac{J}{J_0} \text{ дБ}, \quad (9.12)$$

$$L = 10 \lg \frac{J}{J_0} = 10 \lg \frac{P^2}{\bar{P}_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0} \text{ дБ}, \quad (9.13)$$

где J_0 , P_0 – пороги слышимости по интенсивности и давлению, 10^{-12} Вт/м², $2 \cdot 10^{-5}$ Па;

J , P – интенсивность и среднеквадратичное давление данной звуковой волны (волн).

Область слышимых звуков ограничена двумя порогами: порогом слышимости ($L = 10 \lg J_0 / J_0 = 0$) и порогом болевого ощущения, $J = 100$ мВт/м² ($L = 10 \lg 100 \text{ Вт/м}^2 / 10^{-12} \text{ Вт/м}^2 = 140$ дБ).

Шум – совокупность периодических и аperiodических звуков различной интенсивности и частоты. Если аperiodические волны в шуме отсутствуют или их доля мала, шум называется постоянным. Уровень постоянного шума изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерении на временной характеристике шумомера “медленно”. При непостоянном шуме это изменение превышает 5 дБА. Индекс “А”, появившийся в обозначении единицы измерения величин L_J и L , отражает то обстоятельство, что при интегральной инструментальной (с помощью шумомера) оценке общего уровня непостоянных и постоянных шумов используется частотная характеристика А чувствительности шумомера. Она имитирует характеристику чувствительности уха человека, “зарезающую” объективное энергосодержание звуковых волн на высоких и особенно низких частотах. Шкала шумомера, соответствующая этой характеристике, называется шкалой А. Она используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума (уровень звука). Другая шкала шумомера – шкала С – соответствует практически линейной частотной характеристике с (чувствительности шумомера, позволяющей измерять объективные энергосодержания звуковых волн на девяти участках (в девяти октавах) измеряемого диапазона частот.

Непостоянные шумы особенно негативно воздействуют на организм человека, они делятся на импульсные, прерывистые, колеблющиеся, продолжительные и кратковременные.

В биологическом отношении шум – заметный стрессовый фактор, вызывающий срыв приспособительных реакций [59]. Биологические последствия его действия: от функциональных нарушений регуляции центральной нервной системы (ЦНС) до морфологически выраженных разрушительных процессов в разных органах. Степень шумовой патологии зависит от интенсивности, нестационарности и продолжительности действия, состояния ЦНС, от индивидуальной чувствительности организма к шуму. Особенно чувствительны к шуму женский и детский организмы.

Шум угнетает ЦНС, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, может способствовать нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни, может приводить к профессиональным заболеваниям. Шум с уровнем звукового давления 40 ... 70 дБ в условиях среды обитания создаёт значительную нагрузку на нервную систему и может стать причиной неврозов. Шум выше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной глухости. При воздействии шума более 140 дБ возможно разрушение барабанных перепонки, контузия, а при шумах более 160 дБ и смерть [59].

Критерий профессионального снижения слуха – показатель средней арифметической величины снижения слуха, равный или больший чем 11 дБ. Помимо патологии органа слуха при воздействии шума возникает нарушения вестибулярной функции, а также общие изменения в организме: головные боли и головокружение, боли в области желудка и желчного пузыря и т.д.. В целом, шум вызывает снижение функции защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям.

Нормируемые параметры шума определены Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”, а также ГОСТ 12.1.003-83. Для нормирования постоянных шумов определены допустимые уровни звукового давления в девяти октавных полосах в зависимости от вида производственной деятельности (семь видов). Для ориентировочной оценки в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах допустимо принимать уровень звука (дБА), определяемый, как отмечалось, по шкале А шумомера с коррекцией низкочастотной составляющей по закону чувствительности органов слуха [59]. Нормируемая характеристика непостоянного шума – эквивалентный по энергии уровень звука (дБА)

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1L_i} \right), \quad (9.14)$$

где t_i – относительное, в процентах от всего времени измерения, время воздействия шума класса L_i ; L_i – уровень класса i , дБА.

При оценке шума допускается использовать дозу шума, так как установлено, что эффект воздействия шума на смещение порога слуха пропорционален дозе шума [59].

В табл. 9.16. приведены уровни звукового давления (объективные энергетические характеристики шумов, в дБ, в девяти октавах их реального спектра, измеряются по шкале С шумомера), уровни звука (для постоянных шумов) и эквивалентные уровни звука, дБА (для непостоянных шумов) для одного из видов (классов) рабочих мест, требующих возможно меньшего уровня шума. Здесь же приведены аналогичные параметры шумов для жилых комнат квартир и т.п. помещений; для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам, учреждениям медицины и образования; для площадок отдыха микрорайонов, учебных заведений, домов отдыха, домов-интернатов для престарелых и инвалидов.

Таблица 9.16.

Допустимые уровни звукового давления,

уровни звука и эквивалентные уровни звука
 для одного из видов (классов) рабочих мест по ГОСТ 12.1.003-83*
 с дополнениями 1989 г. (извлечение),
 а также для жилых комнат квартир и т.п. помещений;

для территорий, непосредственно прилегающим к жилым домам,
 учреждениям медицины и образования; для площадок отдыха – по
 Санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (извлечение)

Места, для которых производится нормирование	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Помещения конструкторских бюро, расчётчиков, программистов ВМ, лабораторий для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах										
с 7 до 23 ч	76	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч	67	55	44	35	29	25	22	20	18	30
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и										

инвалидов, детских учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек.										
с 7 до 23 ч	88	75	66	59	54	50	47	45	43	55
с 23 до 7 ч	80	67	57	49	44	40	37	35	33	45

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений	80	67	57	49	44	40	37	35	33	45

Примечания: 1. Эквивалентные и максимальные уровни звука для шума, создаваемого автомобильным, железнодорожным, авиационным транспортом, в 2м от ограждающих конструкций первого ряда жилых и общественных зданий, обращённых в сторону магистральных улиц, принимается на 10дБА выше приводимых в табл. 9.16.

2. УЗД в октавных полосах, уровни звука и эквивалентные уровни звука шума, создаваемого в помещениях системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции, следует принимать на 5 дБ ниже указанных в табл. 9.16 или фактических уровней шума, если последние не превышают значения в табл. 9.16 (в этом случае не учитывают поправку для тонального и импульсного шума, см. табл. 9.17)

Таблица 9.17.

Влияющий фактор	Условия	Поправка Δ, дБ или дБА
Характер шума	Широкополосный шум	0
	Тональный или импульсный шум (при измерениях стандартным шумомером)	-5
Место расположения объекта	Курортный район, места отдыха	-5
	Новый проектируемый жилой район	0
	Район сложившейся застройки	+5

Примечания: 1. Поправки на место расположения объекта следует учитывать только для внешних источников шума.

2. Поправку +5 дБ не следует применять для вновь строящихся зданий в сложившейся застройке.

С другой стороны, обеспечение допустимых уровней шума зависит от выполнения нормативов для различных источников шума. Так, шум транспорта, измеренный на расстоянии 7,5 м от осевой линии движения, должен соответствовать ГОСТ 27436-87 и ОСТ 27.004.022-86.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что уровень шумов для жилых помещений примерно на 10 дБ меньше, чем для самых “привилегированных” (в части шума) рабочих мест. Достаточно низкий уровень шума определён для жилой зоны и площадок отдыха.

9.3.2.2. Вибрация

Воздействия вибрации на человека классифицируются по способу передачи колебаний; по направлению действия вибрации; по временной характеристике её [59].

Общая вибрация передаётся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, локальная – через руки, через ноги сидящего человека, через предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями.

Вертикальная вибрация распространяется по оси X, перпендикулярной к опорной поверхности; горизонтальная - по оси Y, от спины к груди; горизонтальная - по оси Z, от правого плеча к левому.

Вибрация называется постоянной, если за время наблюдения контролируемый параметр изменяется не более чем в 2 раза; при непостоянной вибрации контролируемый параметр изменяется более чем в 2 раза.

Вибрация – фактор высокой биологической активности. Характер реакции организма определяется силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы.

Между вибрационным воздействием и реакцией нет прямой зависимости. Причина этого видится в резонансном эффекте. Последний возможен при частотах вибраций, больших чем 0,7 Гц. Так, область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20 ... 30 Гц, при горизонтальных – 1,5 ... 2 Гц, расстройство зрительных восприятий проявляется в диапазоне 60 ... 90 Гц,

для органов в грудной клетке и брюшной полости резонансная область составляет 3 ... 3,5 Гц и т.д.

Частота заболеваний определяется величиной дозы, клинические проявления определяются спектром вибраций.

При действии общей вибрации страдают нервная система и вестибулярный, зрительный, тактильный анализаторы: головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, сужение и выпадение отдельных секторов поля зрения, снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности.

Толчкообразная вибрация вызывает микротравмы тканей. Общая низкочастотная вибрация влияет на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного, белкового и других обменов, биохимических показателей крови.

Чрезвычайно распространена локальная вибрация – при работе с ручным механизированным инструментом. Она вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, чем нарушается снабжение конечностей кровью. Кроме того, колебания действуют на нервные окончания, мышечные и костные ткани, что вызывает снижение кожной чувствительности и отложение солей в суставах пальцев.

Время развития периферических расстройств, в основном, зависит не столько от уровня, сколько от дозы вибрации в течение рабочей смены. Заболевания развиваются в течение 8-15 лет.

Усугубляют действие вибрации большие мышечные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия.

Длительное систематическое воздействие вибрации приводит к развитию вибрационной болезни (ВБ). Она характерна для работающих, в условиях населённых мест ВБ не обнаруживается, несмотря на наличие ряда источников вибрации (транспорт, промышленные источники вибраций и т.д.). Тем не менее, лица, подвергающиеся воздействию вибраций окружающей среды, чаще заболевают сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями.

При гигиенической оценке нормируемыми параметрами вибраций являются среднеквадратичные величины L_v (дБ) уровней виброскорости, выраженных в виде

$$L_v = 20 \lg \left(\frac{V}{V_0} \right), \quad (9.15)$$

где V – среднеквадратичная виброскорость, м/с; V_0 – пороговая виброскорость, равная $5 \cdot 10^{-8}$ м/с, или виброускорения для локальных вибраций в октавных полосах частот, а для общей вибрации – в октавных или треть октавных полосах. Допустима интегральная оценка вибрации во

всём частотном диапазоне нормируемого параметра (эквивалентный уровень), а также по дозе вибрации, учитывающий время воздействия.

В табл. 9.18 приведены гигиенические нормы вибрации по ГОСТ 12.1.012-90, допустимые уровни вибрации в жилых домах, условия и правила их измерения и оценки регламентируются Санитарными нормами СН 2.2.4/2.18.566-96. Основные нормируемые параметры вибрации – средние квадратичные величины уровней виброскорости и виброускорения в октавных полосах частот.

Таблица 9.18.

Гигиенические нормы вибрации по ГОСТ 12.1.012-90 (извлечение)

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая транспортная:											
вертикальная	132	123	114	108	107	107	107	-	-	-	-
горизонтальная	122	117	116	116	116	116	116	-	-	-	-
Транспортно-технологическая	-	117	108	102	101	101	101	-	-	-	-
Технологическая	-	108	99	93	92	92	92	-	-	-	-
В производственных помещениях без виброгенерирующих машин	-	100	91	85	84	84	84	-	-	-	-
В служебных помещениях, здравпунктах, конструкторских бюро, лабораториях	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-
Локальная вибрация	-	-	-	115	109	109	109	109	109	109	109

6.3.1.3. Инфразвук [63]

В условиях производства инфразвук часто сочетается с низкочастотным шумом, в ряде случаев – с низкочастотной вибрацией.

При инфразвуке уровня 110 ... 150 дБ наблюдается нарушения в ЦНС, сердечно сосудистой и дыхательной системах, в вестибулярном анализаторе. Особенности реакции организма: головные боли, головокружение, осязаемые движения барабанных перепонки, звон в ушах и голове, снижение внимания и работоспособности; возможно появление чувства страха, сонливость, затруднённая речь; специфическая для инфразвука реакция – нарушение равновесия. При 105 дБ наблюдается повышение тревожности и неуверенности, эмоциональной неустойчивости.

Установлено, что инфразвук и низкочастотные шумы близки по характеру воздействия на организм.

Гигиенические нормативы для инфразвука установлены в СН-2274-80. Для условий городской застройки нормирование инфразвука обеспечивается санитарными нормами допустимых уровней инфразвука и низкочастотного шума на территории жилой застройки № 42-128-4948-89, табл. 9.19.

Таблица 9.19.

Предельно допустимые уровни звукового давления на рабочих местах и на территории жилой застройки

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц					Общий уровень звукового давления, дБ
2	4	8	16	31,5	
на рабочих местах					
105	105	105	105	102	110
на территории жилой застройки					
90	90	90	90	90	-

9.3.3. Защита окружающей среды от виброакустических загрязнений [59, 63]

9.3.3.1. Защита от шумов

Необходимость защиты от действующих источников шума определяется сравнением результатов измерений уровней L , $L_{A \text{ экв}}$ с нормативами для рабочей зоны или окружающей среды. Для проектируемых объектов необходимость защиты определяется на основании акустического расчёта.

1. Исходный момент расчёта – шумовые характеристики источников шума: уровень звуковой мощности (УЗМ) L_p на стандартных среднегеометрических частотах ($L_p = 10 \lg P/P_0$, P – звуковая мощность источника, Вт; $P_0 = 10^{-12}$ Вт) и показатель направленности излучения шума G , дБ, $G = 10 \lg \Phi$, здесь Φ – ко-эффициент направленности излучения шума. Эти характеристики определяются в соответствии с ГОСТ 12.1.024-81 и др. и приводятся заводом – изготовителем в технической документации на стационарные машины и оборудование.
2. Выбор т.н. расчётной точки (РТ): для источников шума, излучающих его в окружающую среду, РТ выбирают на расстоянии 2м от плоскости

окон ближайших жилых или общественных зданий. На территории жилых микрорайонов, больниц и санаториев, школ, детских садов РТ выбирают на расстоянии 2м от границ территории на высоте 1,2м от поверхности земли.

3. Определение ожидаемых УЗД в РТ.

Например, для общего случая шума звуковой мощностью P , Вт, интенсивность звука J в РТ

$$J = \frac{P\Phi}{Sk}, \quad (9.16)$$

где k – коэффициент затухания звука, S – площадь, на которую излучается звуковая энергия, m^2 , $S = \Omega r^2$, для источника, расположенного в пространстве $\Omega = 4\pi$, на поверхности территории или ограждающих конструкций, зданий - $\Omega = 2\pi$ и т.д.. Деление (9.16) на J_0 и логарифмирование его даёт искомый для РТ уровень интенсивности звука:

$$L = L_p^{изл} + 10 \lg \Omega - 20 \lg r - \Delta L_p^{он}, \quad (9.17)$$

где $\Delta L_p^{он}$ – снижение УЗМ на пути распространения в открытом пространстве (из-за затухания звуковых волн); при отсутствии препятствий и расстояниях $r < 50m$ величиной $\Delta L_p^{он}$ можно пренебречь.

4. Определение требуемого снижения шума:

$$\Delta L_{ТР} = L - L_{доп} \quad (9.18)$$

Величину $\Delta L_{ТР}$ можно обеспечить, снижая шум в источнике или на пути его распространения.

5. Выбор мер для обеспечения требуемого снижения УЗД.

5.1. Замена шумного устаревшего оборудования, при проектировании – выбором оборудования с лучшими шумовыми характеристиками.

5.2. Оптимальная ориентация источника шума по отношению к РТ для снижения показателя G : устройства для забора и выброса воздуха аэродинамических установок необходимо устанавливать так, чтобы излучение шума шло в противоположную сторону от жилых и общественных зданий.

5.3. Обеспечить максимально возможное расстояние между РТ и источниками шума – за счёт проведения архитектурно-планировочных мероприятий.

5.4. Акустическая обработка средствами звукопоглощения шумных помещений, через окна которых шум излучается в атмосферу.

Звукопоглощающие материалы и конструкции используются для поглощения звука как в помещении самого источника шума, так и в изолируемых от шума помещениях. В последнем случае звукопоглощение и звукоизоляция используются совместно. Звукопоглощающие материалы – пористые и рыхлые волокнистые материалы (ультратонкое стеклянное и

базальтовое волокно, минеральная вата и плиты на её основе и т.п.). Падающие на них звуковые волны вызывают колебания в мелких порах материала, которые сопровождаются трением (из-за вязкости воздуха) и переходом кинетической энергии в тепловую.

5.5. Уменьшение шума на пути его распространения от источника до РТ. Это мероприятие включает в себя следующее.

а) Использование звукоизоляционных материалов и конструкций для наружных стен, окон, ворот, дверей и т.д., которые обеспечивают требуемую звукоизоляцию.

Для звукоизолируемых помещений звукоизоляция более эффективна, чем звукопоглощение: с её использованием можно обеспечить снижение шума на 20-50 дБ, а при обработке стен звукоизолируемого помещения звукопоглощающим материалом снижение шума может составить только 5-8 дБ.

Для звукоизолирующих ограждений конечных размеров (в виде листов) с поверхностной плотностью m (массой одного квадратного метра ограждения, кг/м²) при частоте f звуковых волн получено выражение для звукоизоляции ограждения R , выраженной в децибелах [63]

$$R = 20 \lg mf - 47,5 \quad (9.19.)$$

Подбирая величину m (за счёт удельного веса материала и толщины листа), можно получить величину требуемой звукоизоляции $R_{тр}$, равную или большую требуемого снижения шума $\Delta L_{тр}$, см. (9.18.).

На практике применяют однослойные и многослойные конструкции, например, однослойные (два или более) ограждения из твёрдых плотных материалов (газобетон, металл) в сочетании со слоями пористых металлов (минеральная вата и др.).

б) Устройство звукоизолирующих кожухов для размещения шумного оборудования.

Эффективность кожуха зависит не только от звукоизоляции его элементов, но и от герметичности. Стенки кожуха изготавливают из листовых несгораемых материалов (сталь, дюралюминий и др.), облицованных изнутри звукопоглощающим материалом толщиной до 100мм. Воздухопроводы (если они есть) подсоединяются к изолируемому оборудованию через гибкие вставки и часто вводятся в кожух посредством глушителей. Эффективность кожуха определяется величиной его звукоизоляции R .

в) Применение экранов, препятствующих распространению звука от оборудования предприятия.

Как правило, они устанавливаются на территории предприятия для экранирования открыто установленных источников шума в окружающей среде. Экраны могут быть плоскими или П-образными, чаще всего со

звукопоглощающей облицовкой не менее 50 мм со стороны источника шума. Ширина и высота экрана должны в три и более раз превышать размеры источника, чтобы зона акустической тени и $\Delta L_{\text{экp}}$ были возможно большими.

г) Использование средств виброизоляции и вибродемпфирования.

Интенсивные вибрации практически всегда сопровождаются возникновением шумов. Один из методов борьбы с вибрацией и шумом – установка виброгенерирующего оборудования без фундаментов, непосредственно на виброизолирующих опорах (одиночные или составные цилиндрические пружины, листовые рессоры, резиновые или пластмассовые прокладки, а также комбинированные виброизоляторы: пружинно-рессорные, пружинно-пластмассовые и др.). Этим значительно удешевляется монтаж оборудования и снижается уровень шумов. Для уменьшения вибраций и шумов виброизоляция может быть размещена между оборудованием и фундаментом. Цели уменьшения шума служит установка виброизоляции при прокладке воздухопроводов систем вентиляции и трубопроводов внутри строительных конструкций.

Уменьшение вибраций и шумов достигается также вибродемпфированием, основанном на увеличении потерь энергии в колебательных системах, например, за счёт применения материалов с большим внутренним трением – чугунов с малым содержанием углерода и кремния, сплавов цветных металлов. При этом увеличение коэффициента η потерь энергии происходит за счёт возрастания коэффициента вязкого трения μ : $\eta = \omega\mu/b$, здесь ω - угловая частота вибраций, b - жёсткость системы. Больших потерь энергии вибрационных колебаний и снижения уровня шумов достигают использованием вибродемпфирующих покрытий для трубопроводов и газопроводов компрессорных станций и воздухопроводов систем вентиляции. Покрытия изготавливаются в виде мастик (мастика А-2, ВД-17-63, Адем НШ-2, СКЛ-25 и др.) и листового материала (пенопласт ПХВ-Э, минераловатная плита, винипор технический, фольгоизол и др.).

д) Установка глушителей в источниках шума. Генерация шума в таких источниках связана со сбросом (выхлопом) сжатого воздуха, продуктов горения и т.п.

Глушители абсорбционного типа устроены так, что газ на выходе в атмосферу проходит через звукопоглощающие материалы и конструкции, где и теряет энергию. Так, в простейших, трубчатых глушителях газ проходит по каналам круглого или квадратного сечения, выполненным из перфорированного листового материала с коэффициентом перфорации не менее 0,2; каналы облицованы слоем звукопоглощающего материала

(супертонкое стеклянное или базальтовое волокно), защищённого от выдувания слоем прочной ткани, например, стеклоткани ЭЗ-100.

Глушители реактивного типа применяют в основном для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими. Снижение шума в них происходит в результате отражения звука обратно к источнику. Так, камерный глушитель представляет собой внезапное расширение участка трубопровода (то есть неоднородность в канале передачи вещества и энергии, от которой и происходит отражение части энергии). Величина заглушения определяется по графикам с использованием величины m отношения площадей сечения камеры F_k и трубопровода F_T ($m = F_k / F_T$) и величины $k \cdot l_k$ ($k = 20f/c$ – волновое число, m^{-1} ; f и c – частота и скорость звука; l_k – длина камеры). Наибольшее заглушение достигается при частоте, при которой четверть длины волны равна длине камеры l_k , максимумы заглушения повторяются при нечётных числах четвертей волны $n\lambda/4$, где $n = 1, 3, 5 \dots$

Комбинированный глушитель содержит в себе и абсорбционный, и реактивный глушители, каждый из которых рассчитан на снижение шума в определённой области частот. При этом "реактивная" часть комбинированного глушителя ответственна за снижение уровня низкочастотных шумов, абсорбционная – за снижение уровня средне- и высокочастотных шумов.

5.6. Организация своевременного проведения ремонта, смазки оборудования, машин и т.п., ограничение или запрещение шумных работ и эксплуатацию интенсивных источников шума в ночное время.

9.3.3.2. Защита от вибраций

Как и в случае любого другого загрязнителя, вибрацию можно снизить либо путём совершенствования (в части уменьшения вибрации) технологий (машин, оборудования и т.д.), то есть путём снижения вибрации в источнике её возникновения, либо путём принятия мер по снижению этого загрязнения после его выхода из источника – на путях распространения вибрации в окружающей среде. Эти меры (мероприятия) – аналог устройств (сооружений) очистки выбросов или сбросов от химических загрязнителей биосферы.

Минимизация вибраций в источнике производится и на этапе проектирования, и в период эксплуатации. При проектировании машин и оборудования следует отдавать предпочтение кинематическим и технологическим схемам, которые исключают или максимально снижают динамику процессов, вызываемых ударами, резкими ускорениями и т.п.

Одна из причин вибраций оборудования с вращающимися элементами – смещение центра масс относительно оси вращения, что приводит к возникновению неуравновешенной центробежной силы $F = me\omega^2$, где m – масса вращающейся системы, ω – угловая скорость, e – эксцентриситет центра массы относительно оси вращения. Для снижения уровня возникающих вибраций необходимо применять балансировку вращающихся частей в соответствии с ГОСТ 22.061-76 "Машины и технологическое оборудование. Системы классов точности балансировки", а также принимать меры по устранению излишних люфтов и зазоров – в рамках периодического освидетельствования машин и механизмов как источников вибрации.

Другой путь снижения вибраций в источнике – устранение резонансных режимов работы оборудования. При проектировании это должно быть достигнуто выбором режимов работы при тщательном учёте собственных частот машин и механизмов. При эксплуатации возможны изменения характеристик жёсткости агрегатов и даже их массы, что приводит к изменению собственных частот, возможны и изменения режимов работы. Всё это может приблизить собственную частоту машины к частоте вынуждающей силы и стать причиной возникновения интенсивных вибраций.

Поскольку собственная частота систем

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{b}{m}}, \quad (9.20)$$

где b и m – жёсткость и масса системы, изменяя b или m , или обе характеристики, можно исключить режим резонанса.

Метод виброгашения основан на увеличении жёсткости и массы корпуса машин или станин станков путём их объединения в единую систему с фундаментом – с помощью анкерных болтов или цементной подливки. Образующееся при этом виброзащитное устройство, увеличивающее рассеяние энергии в результате повышения диссипативных свойств системы, является поглотителем вибраций.

В методе виброизоляции снижение уровня вибрации на пути её распространения достигается установкой упруго-демпфирующего устройства – виброизолятора между источником вибрации и её приёмником, например, фундаментом, являющимся одновременно объектом защиты. (О виброизоляции и вибродемфировании – в разд. 9.3.3.1.).

9.3.3.3. Защита от инфразвука

Длины волн инфразвуковых колебаний значительно превосходят длины волн звуковых колебаний. Это во многом предопределяет отличие средств инфразвуковой защиты от применяемых для защиты от шума: длины инфразвуковых волн значительно больше размеров препятствий на пути их распространения. Защита расстоянием в данном случае неэффективна: затухание инфразвуковых колебаний в приземном слое атмосферы не превышает $8 \cdot 10^{-6}$ дБ/км.

Основные направления защиты:

1. Изменение режима работы технологического оборудования, чтобы основная частота следования силовых импульсов $f = n/60$, лежала за пределами инфразвукового диапазона. Следует также предусматривать ограничение (там, где возможно) скорости движения транспорта и скорости истечения паров, газов, сжатого воздуха, при выборе конструкции отдавать предпочтение компактным (малогабаритным) машинам.
2. Целесообразно использование глушителей шума для подавления инфразвуковых гармоник всасывания и выхлопа мощных стационарных дизельных, компрессорных установок, ДВС и турбин.

Звукоизоляция инфразвука требует применения мощных строительных конструкций с массой одного квадратного метра $10^5 \dots 10^6$ кг. Для обычной же звукоизоляции, например, для двойных оконных рам, в инфразвуковом диапазоне эффект звукоизоляции полностью отсутствует.

Метод звукопоглощения инфразвуковых колебаний может быть осуществлён при использовании резонирующих панелей типа конструкций Бекеши: прямоугольные рамы, например, размером 4x2 м, на которые крепится тонкостенная мембрана (металл, фанера, воздухонепроницаемая плёнка). Конструкция может быть настроена на определённую частоту инфразвука и может эффективно использоваться в диапазоне более высоких частот звуковых колебаний – при заполнении полости резонатора звукопоглощающим материалом, фиксируемым мелкоячеистой сеткой.

9.3.4. Методы и приборы для измерения шума, инфразвука и вибраций [59, 63]

Измерение шума в зоне жилой и общественной застроек производится на высоте 1,2 м, в точках, отстоящих от стен зданий не меньше, чем на 2 м; в самих помещениях (при открытых форточках) – не менее чем в трёх точках на высоте 1,2 м, удалённых на 1,2 м и более от стен.

Уровни звукового давления постоянного во времени шума измеряются в октавных полосах частот, в дБ. Измерение, уровней звука, в дБА, (при этом шумомер включают в положение “медленно”) позволяет только сравнить шум с допустимыми нормами, знание октавных уровней звукового давления позволяет, помимо сравнения с октавными нормативами, осознанно строить работу по защите от шума.

Изменение уровней звука, в дБА, непостоянного шума проводится в течение наиболее шумных 0,5ч с регистрацией уровней на ленте самописца. Отсчёты со шкалы шумомера берутся через ~ 5с, импульсные шумы измеряются в положении “импульс”. Основные типы приборов для контроля шумов: ВШВ-003, ВКЦ-1 с фильтрами ФЭ-2, ШУМ-1М, ШМ-1, ШИН-01.

Системы для измерения инфразвука должны состоять из приборов 0-го и 1-го классов точности – шумомеры от 2Гц по ГОСТ 17187-81 с октавными фильтрами по ГОСТ 17168-82. На территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, измерение проводится на расстоянии 0,3 м от ограждающих конструкций зданий как со стороны источника инфразвука, так и с противоположной стороны.

Измерение уровней вибраций в октавных полосах со среднегеометрическими значениями от 31,5 до 8000 Гц производится той же аппаратурой, что и для измерения шума, с заменой микрофона вибродатчиком. Из отечественной аппаратуры используется измеритель шума и вибрации ВШВ-003. Использование интегратора типа ЗК-020 даст возможность измерения не только уровней виброускорения, но и уровней виброскорости и вибросмещения. Используемые российские вибродатчики (пьезоэлектрические): Д13, Д28.

Для измерения вибрации в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 16 Гц и ниже используется отечественная аппаратура ВМ-1 с фильтрами ФЭ-2, либо измерительные тракты фирм БиК и «Robotron» с фильтрами 1614 и OF-201.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, согласно многим признакам, на исходе 20 столетия биосфера оказалась в состоянии Глобального экологического кризиса. Например, быстрое возрастание скорости исчезновения видов в течение последних 10 тыс. лет показывает, что уже в обозримом будущем может произойти катастрофическое падение разнообразия видов, и биосфера может быстро перейти в новое качество, ассоциируемое с экологической катастрофой.

Такая перспектива не противоречит современной концепции

эволюции материи. В рамках ее признано допустимым принять положение о способности материи к самоорганизации на разных уровнях ее развития - от форм косного вещества до живого вещества и высшей формы его проявления - человека. Ключевой момент представлений о самоорганизации материи - переход к новому качеству происходит через нестабильное состояние. В нестабильном состоянии материя, находящаяся в данном темпомире, оказывается в результате эволюционного накопления мутаций. Последнее имеет предел, после которого данная форма материи разрушается даже от малейшего возмущения. Разрушение (бифуркация) носит взрывной характер, и формы новой организации материи принципиально непредсказуемы, хотя вектор изменений априорен - в сторону усложнения форм и функционирования материи.

Проецируя эти представления на процессы взаимодействия общества и биосферы, академик РАН Н.Н. Моисеев в качестве примера развития и разрешения экологического кризиса приводит процессы в неолитическом обществе. Обретенные человеком к этому времени умение использовать огонь, система методов и средств добывания пищи (охота, собирательство) позволили популяции позднего неолита - кроманьонцам - быстро распространиться на тогдашнюю ойкумену и исчерпать привычные пищевые ресурсы. Начавшаяся вслед за этим борьба за пищу, носящая характер взрыва (бифуркации), привела к потрясению неолитического общества. Достаточно сказать, что население уменьшилось в 7-8 раз. Н.Н. Моисеев назвал этот процесс неолитической революцией. Но в этом потрясении содержалось благо для дальнейшего развития человеческого общества: в ходе неолитической революции человек перешел от охоты и собирательства к новой организации жизнедеятельности, основанной на растениеводстве и животноводстве.

Каким же ожидается разрешение современного, Глобального экологического кризиса? Неизбежной бифуркационной катастрофой? Или существуют варианты? И каково место инженера во всех этих процессах?

Похоже, действительно, варианты существуют. Объективные. Вспомним, что идея ноосферы возникла задолго (в 20-х годах XX века) до сегодняшнего широкого осознания мировым сообществом углубляющегося экологического кризиса. Э. Леруа, П.Т. де Шарден, В.И. Вернадский впервые осознали феномен человеческой мысли, разума как всепланетное явление, знаменующее собой начало перехода биосферы к ноосферному этапу эволюции, на котором коллективный разум человечества обеспечит качественно новые формы жизни общества, гармонизирующие взаимоотношения человека и биосферы. В период своего рождения идея (гипотеза) ноосферы воспринималась современниками как чисто теоретическая модель. Сегодня, в период нарастания числа пугающих признаков грядущей катастрофы, и,

одновременно, замечательных успехов в информатике, технологии, генной инженерии признание общим свойством материи ее способность к самоорганизации дает методологическую базу для оптимистической "спасательной" деятельности человека в биосфере. Самое банальное представление сложившейся ситуации: уж если косное вещество способно развиваться - в рамках самоорганизации - во все более упорядоченные формы, то человеку с его практически безграничной способностью к самоорганизации это тем более пристало: помимо априорной направленности вектора эволюции материн в сторону большей упорядоченности, у человека есть разум и воля.

Но разум и воля давно присущи человеку, а гармонизации в отношениях человека и природы не наступило. Чего же не достает человеку и каковы критерии достижения ноосферного состояния?

По-видимому, необходимым условием перехода к ноосфере является достижение качественно новых результатов деятельности человеческого духа (разум есть деятельность человеческого духа) -общего духовного достояния человечества: в языковой коммуникации, технике и технологии, праве, ценностях, морали, нравах, формах воспитания и образования, взглядах, настроениях, вкусе, моде, направлении искусства, месте и состоянии познания и науки, мировоззрении, при которых появляются реальные возможности перехода человечества в новые, ноосферные координаты функционирования: новый уровень технологии, ценностей, права, языковой и электронной коммуникации и т.д. Но такие возможности могут быть реализованы только при наличии волевого акта утверждения человечеством новой экологической парадигмы жизни человечества. В предисловии к книге Д.Х. Медоуз с соавторами "За пределами роста" (1994г.) профессор Г.А. Ягодин обозначил этот акт как экологическую революцию. На "подтягивание" общего духовного состояния до необходимого уровня Г.А. Ягодин "отводит" несколько десятилетий, о нескольких десятилетиях говорит и Н.Н. Моисеев.

Значит, в контексте надвигающихся экологических угроз, миллионы и миллионы индивидуальностей Земли должны включаться во все более упорядоченную экодеятельность во всех упомянутых сферах проявления человеческого духа, а само осознание данных угроз должно концентрировать и интегрировать их (индивидуальностей) волю к поиску и утверждению новых ценностей, выводящих мировое сообщество из традиционных координат экоопасной жизнедеятельности в экобезопасные координаты.

И этот процесс уже идет: это и знаменитый доклад Римскому клубу "Пределы роста" (1971 г.), и одноименная книга (1972г.), и Всемирная промышленная конференция по управлению окружающей средой (1984г), и резолюция Генеральной ассамблеи ООН (1987г), в которой впервые

прозвучавшая концепция устойчивого развития была предложена для изучения правительствам всех стран, и Конференция ООН по окружающей среде и развитию (1992г), на которой эта концепция была принята и провозглашена тотальная экологизация всех сторон жизни мирового сообщества; это и многочисленные программы международного сотрудничества в области экологии и охраны окружающей среды, например, по "озоновым дырам" и "парниковому эффекту", и движения "зеленых", подобные движению "Друзья Земли" в Голландии, и стремительно возрастающие экологические требования к технологиям производства товаров и услуг.

Налицо интеграция разума индивидуальностей или групп в единый коллективный Разум планеты, одним из воплощений которой является мировая компьютерная сеть. Очевидно, что идея гармонизации отношений природы и общества на данном этапе его истории дает мощный импульс явлению интеграции, как непрерывно и ускоренно идущему мировому процессу. Его практические результаты трудно, даже невозможно предвосхитить (как, например, неожиданным стало событие клонирования животных в 1997г.), но именно на этом пути можно ожидать решающих результатов в преодолении Глобального экологического кризиса. И следует согласиться с тем, что инженерная деятельность: создание безотходных технологий, эффективных аппаратов очистки и утилизации отходов, средств телекоммуникаций и т.д. - важнейшая, но не единственная сфера деятельности человеческого духа, результаты которой приведут в ноосферное будущее. Инженерная деятельность создает лишь предпосылки для него. Необходимы громадные сдвиги в других сферах. Это надо помнить, к этому надо готовиться.

А что же с бифуркацией? Читатель, по-видимому, почувствовал, что авторы склоняются к оптимистическому ответу на этот вопрос. Действительно, предлагается умеренная трактовка заключительной стадии Глобального экологического кризиса: предполагается, что две "горячие" и одна "холодная" мировые войны и были бифуркационным взрывом, который можно положить началом отсчета времени ноосферной эпохи. Все три войны по большому, так сказать, счету были инструментарием разрешения сырьевого, то есть экологического кризиса, хотя разными исследователями и комментаторами эти три события одевались и одеваются в самые различные одежды. Таким образом, можно сказать, что бифуркация была, а общество ее явно не заметило и определенно не обозначило. В пользу такого предположения можно привести целый ряд доводов. Вот один из них: возможно в контексте такого предположения закономерен и столь нашумевший вывод Ф. Фукуямы о "конце истории" - конце периода апогея биосферно-цивилизационной бифуркации.

Фиксация обществом начала ноосферной эпохи, могла бы стать

фактором, стимулирующим сознательную, целеустремленную и конструктивную деятельность мирового сообщества по продвижению к гармонии общества и его отношений с Природой.

Литература

1. М.Фешбах, А.Френдли-младший. Экоцид в СССР. - М.: НПО «Биотехнология», 1992. - 308 с.
2. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. - М.: Мысль, 1990. - 637 с.
3. Экологический энциклопедический словарь / И.И.Дедю. - Кишинёв: Гл. ред. МСЭ. - 408 с.
4. Моисеев Н.Н. Законы природы и особенности цивилизации наступающего века // Зелёный мир, 1992. - 27-28, с. 8-9.
5. Иоганзен Б.Г., Лаптев И.П. Экология, биоценология и охрана природы. - Томск: изд. ТГУ, 1979. - 256 с.
6. Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, И. Рандерс, У. Беренс Ш. Пределы роста: Пер. с англ. - М.: +ПрогрессL, 1991. - ... с.
7. Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, И. Рандерс. За пределами роста: Пер. с англ. - М.: «Прогресс» - «Пангея», 1994. - 303 с.
8. С. Шмидхейни и Члены Совета предпринимателей. Смена курса: Пер. с англ. - М.: Геликон, 1994. - 384 с.
9. В.А.Коптюг Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992): Информационный обзор. - Новосибирск: СОРАН, 1993. - 62 с.
10. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. - СПб: Химия, 1997. - 240 с.
11. Экология горного производства: Учебн. для вузов / Г.Г. Мирзаев, Б.А. Иванов, В.М. Щербаков, Н.М. Проскуряков. - М.: Недра, 1991. - 320с.
12. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. - М.: Наука, 1974. - 942 с.
13. Вернадский В.И. Биосфера (Избранные труды по биогеохимии). - М.: Мысль, 1997. - 376 с.
14. Иоганзен Б.Г., Лаптев И.П. Основные этапы эволюции биосферы. - Кемерово: Кемер. обл. Объед. Пед. об-ва РСФСР, 1989. - 36 с.
15. Н. Ясаманов. Сколько тебе лет, Земля? - Наука и жизнь, 1987, -2, с. 82-86.

16. Э.М. Галимов. Проблемы геохимии углерода. - Геохимия, 1988, -2, с. 258-278.
17. Одум Ю. Экология. в 2-х томах. - М.: Мир, 1986. т. 1 - 328 с., т. 2 - 376 с.
18. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. - М.: «Прогресс» - «Пангея», 1993, т.1 - 253 с.
19. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир: В 2-х т. Пер. с англ. - М.: Мир, 1993, - т.1 - 420 с., т. 2 - 424 с.
20. Н. Моисеев. Законы природы и особенности цивилизации поступающего века. - Зелёный мир, 1992, -27-28, с. 8-9.
21. Ю.Н. Гладкий, С.Б. Лавров. Дайте планете шанс! - М.: Просвещение, 1995г., - 207 с.
22. В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. Экология, здоровье и природопользование в России /Под ред. В.Ф. Протасова. - М.: Финансы и статистика, 1995. - 528 с.
23. В.С. Городинская, В.Ф. Иванов. Природа. Человек. Закон. - М.: Юрид. лит., 1990. - 384 с.
24. А.Л.Яншин, А.И. Мелуа. Уроки экологических просчётов. - М.: Мысль, 1991. - 430 с.
25. Л.П.Рихванов, Е.Г.Языков. Содержание тяжелых металлов в почвах. - Томск: ТПУ, 1992. - 42 с.
26. Л.П.Рихванов, М.М.Рихванова. Введение в радиоэкологию. - Томск: ТПУ, 1994. - 104 с.
27. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. - М.: «Прогресс» - «Пангея», 1994, т. 2 - 335 с.
28. Наше общее будущее. Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) / Под ред. С.А.Евтеева и Р.А.Перелета. - М.: «Прогресс», 1989. - 372 с.
29. Д.П.Никитин, Ю.В.Новиков. Окружающая среда и человек. - М.: Высш. шк., 1986. - 415 с.
30. Атомная энергетика - перспективное направление развития энергетики // Атом - ревью, -3, 1993. - с. 5-8.
31. Охрана окружающей среды / С.А.Брылов, Л.Г.Гребчак, В.И.Комащенко и др., Под ред. С.А.Брылова и К.Штродки. - М.: Высш. шк., 1985. - 272 с.
32. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба (Технологические аспекты). - Новосибирск: СО АН СССР, 1990. - 184 с.
33. Скалкин Ф.В., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и охрана окружающей среды. - Л.: Энергоиздат, 1981. - 280 с.

34. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. - Томск: изд. ТГУ, 1990. - 188 с.
35. Ольсевич Ю.Я., Гудков А.А. Критика экологической критики. - М.: +МысльL, 1990. - 214 с.
36. Эксплуатация АЭС // Атом-ревью, -2, 1993. - с. 5-16.
37. Что такое атомная станция теплоснабжения / О.Б.Самойлов, В.С.Кууль, Б.А.Авербах и др.; Под ред. О.Б.Самойлова, В.С.Кууля. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 96 с.
38. Хефлинг Г. Тревога в 2000 году. Бомбы замедленного действия на нашей планете. - М.: «Мысль», 1990. - 280 с.
39. Радиация. Дозы, эффекты, риск Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 79 с.
40. Саломатов В.В., Саломатова Т.И., Кузнецов В.А. Методологические и социально-технологические основы экологической безопасности в энергетике // Седьмой Региональный научно-технический семинар по ноосферным взаимодействиям (ноосферные взаимодействия и ядерная безопасность): Избранные материалы. - Томск: СибНИЦАЯ, 1994. - с. 43-54.
41. Бернштейн Л. Правда и ложь о приливной электростанции +РансL и проекте Тугурской ПЭС // Зелёный мир, -43-44, 1992.
42. Кононович А. Идёт игра со спичками и бензином. // Зелёный мир, -23-24, 1992.
43. Янтовский Е. Стратегия энергетики. // Наука и жизнь, -1, 1991. - с. 67-70.
44. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах, Кн. 1. Народонаселение и пищевые ресурсы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1994. - 340 с.
45. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Томской области в 1995 году. / Государственный комитет экологии и природных ресурсов Томской области. -Томск, 1996.-178с.
46. Скиннер Б. Хватит ли человечеству земных ресурсов? - М.: Мир, 1989. - 264 с.
47. Моисеев Н.Н. Современный антропогенез и цивилизационные разломы // Зелёный мир. - 1994, -21 - с. 5-11.
48. Моисеев Н.Н. Восхождение к Разуму. Лекции по универсальному эволюционизму и его приложениям. - М.: Издат. 1993. - 192с.
49. План действий - «Устойчивые Нидерланды» / Пер. с англ. Л.Л. Тхоржевской; под ред. М.Л.Борозина; предисловие и заключение Н.Н.Моисеева. - М.: Экопресс - «ЗМ», - 1995. - 70 с.

50. Вронский В.А. Прикладная экология: учебное пособие. - Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 1996. - 512 с.
51. Экономические основы экологии / В.В.Глухов, Т.В.Лисочкина Т.П. Некрасова. Спб: Специальная литература, 1995. - 280 с.
52. Ливчак И.Ф. Воронов Ю.В. Охрана окружающей среды. - М.: Стройиздат, 1988. - 191 с.
53. Химия окружающей среды / Под ред. Бокриса Дж. О. М.: Химия, 1982. – 671 с.
54. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1997 году. Государственный Комитет по охране окружающей среды Томской области. – Томск: 1998. - 258 с.
55. Техника защиты окружающей среды / Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
56. Б.Уригашвили. Свалка как символ нашей жизни //Известия. – 1995, № 39.
57. Атомная энергетика – что дальше? – М.: Знание, 1989. – 48 с.
58. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. Часть I / Под ред. проф. Э.А.Арустамова. – М.: Информационно-внедренческий центр «Д Маркетинг», 1998. – 248 с.
59. Безопасность жизнедеятельности / С.В.Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
60. Петров В.В. Экологическая право России. – М.: Изд-во БЕК, 1996. – 557 с.
61. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
62. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 328 с.
63. Охрана окружающей среды: Учебн. для техн. спец. вузов / С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков и др.. Под ред. С.В.Белова. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
64. Лапшев Н.Н. Расчёты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 223 с.
65. Электроэнергетика и природа (экологические проблемы развития электроэнергетики) / Под ред. Г.Н.Лялика и А.Ш.Резниковского – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 325 с.
66. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 227 с.
67. Яковлев С.В. и др. Водоотводящие системы промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.

68. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. – 112 с.
69. Дзюбо В.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 116 с.
70. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1989. – 224 с.
71. ГОСТ 25 150-82. Канализация. Термины и определения. – М.: Изд. стандартов, 1984. – 10 с.
72. Яковлев С.В. и др. Канализация: Учебн. для вузов, 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1976 – 632 с.
73. Канализация населённых мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика. / Н.И.Лихачёв и др. / Под ред. Самохина. 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
74. Кузьмин Ю.М. Сетчатые установки систем водоснабжения. – Л.: Стройиздат, 1976. – 160 с.
75. Беккер А.А. Глобальные изменения климата – возможные причины и последствия. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1998, вып. 4. – с. 2-11.
76. Малахов В.М., Сенич В.Н. Тепловые загрязнения окружающей среды промышленными предприятиями: Аналитический обзор / СО РАН. ГПНТБ; АОТ НПФ «Техэнергохимпром»; ООО «Химмашэкология». – Новосибирск, 1997. – 68 с. (Сер. «Экология». Вып. 44).
77. Энергетические аспекты защиты окружающей среды от теплового и химического загрязнения / С.С.Кутателадзе, В.Н.Москвичёва, Б.И. Псахис и др. – Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1978. – 40 с.
78. Техногенные факторы изменения окружающей среды и современные задачи охраны природы: Сб. науч. ст. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 120 с.
79. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинёв: Гл. ред. МСЭ. – 408 с.
80. Бусаров В.Н. Возможности уменьшения эмиссии CO₂ за счёт использования возобновляемых источников энергии в условиях глобального изменения природной среды и климата. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1996, вып. 4. – с. 51-88.
81. Влияние термального загрязнения вод на водные организмы // Fish und Umwelt. – 1976. – N 2.
82. Основы биопродуктивности внутренних водоёмов Прибалтики: Сб. науч. ст. – Вильнюс, 1975. – 180 с.

83. Langford T.E. Экология и охлаждающие воды электростанций // 9th World Energy Conf., Detroit. – 1974. – Trans. Vol. 3 – S. 1.
84. Образование и распространение вторичных загрязнений воздуха / W.H. White, J.A.Anderson, D.L.Blumental. – Science. – 1976. – Vol. 194, N 4261.
85. Реввель П., Реввель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах , кн. 3. Энергетические проблемы человечества: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1995. – 291 с.
86. Карташов А.Г. Введение в экологию. Учебное пособие. – Томск: Изд. «Водолей», 1998. – 384 с.
87. Основы радиационной безопасности в жизнедеятельности человека: Учебное пособие / П.П.Кукин, В.Л.Лапин, В.М.Попов, Л.Э.Мрачевский, Н.И.Сердюк; под общ. ред. В.Л.Лапина, В.М.Попова; МГАТУ им. К.Э.Циолковского; Курск ГТУ. Курск, 1995. – 143 с.
88. Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1988. – 79 с.
89. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
90. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
91. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности / Ф.З.Ширяев, В.И.Карпов, В.М.Крупчатников и др. / Под ред. Б.Н.Ласкорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 233 с.
92. Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» (Сан. П и Н 2.2.4/2.1.8.055-96)
93. Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Кудрин И.Д. Защита от электромагнитных излучений. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1998, вып. 4. – с. 2 – 11.
94. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными ЛЭП переменного тока промышленной частоты, № 29 71-8. – М.: Минздрав СССР, 1985. – 7 с.
95. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Никитин О.А., Аношин О.А., Кужекин И.П., Максимов Б.К. О влиянии электрических и магнитных полей промышленной частоты на здоровье человека // Энергетик. – 1996, № 11. – с. 4 – 5.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ЭПОХА ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ	7
1.1. Предмет и задачи экологии	7
1.2 Основные понятия и определения	14
Глава 2. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	17
2.1. Учение о биосфере и ее эволюции	17
2.2. Экологические факторы и их действие	26
2.2.1. Закономерности действия факторов	26
2.2.2. Абиотические факторы	28
2.2.3. Биотические факторы	34
2.2.4. Антропогенные факторы	36
2.2.5. Адаптация живых организмов к экологическим факторам	37
2.3. Популяция, ее структура и динамика	38
2.4. Экологическая система	45
2.4.1. Структура наземной и водной экосистемы	46
2.4.2. Гомеостаз и сукцессия экологической системы	50
2.5 Энергетика и продуктивность экосистемы	52
2.6. Круговорот веществ в биосфере	57
2.6.1. Круговорот углерода	57
2.6.2. Круговорот азота	59
2.6.3. Круговорот фосфора	60
2.6.4. Круговорот серы	61
2.6.5. Круговорот воды	62
2.7. Помехи в экосистемах	63
2.8. Деятельность человека как источник помех	65
Глава 3. СПАСТИ ЗЕМЛЮ - НАКОРМИТЬ МИР	68
3.1. Демографические проблемы	68
3.1.1. Рост человеческой популяции. Рождаемость и половозрастные пирамиды	68
3.1.2. Проблемы урбанизации	75
3.1.3. Пути решения демографических проблем	77
3.2. Обеспечение продовольствием	82

3.2.1. Состояние обрабатываемых земель.	
Механические "болезни" почв	82
3.2.2. Леса и пастбища - поставщики пищевой энергии	88
3.2.3. Мировые рыбные промыслы	91
3.3. Способы увеличения мирового производства продовольствия	92
3.3.1. Охрана почв	92
3.3.2. Увеличение мирового производства продовольствия	95
Глава 4. ПРОБЛЕМА СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ	97
4.1. Классификация природных ресурсов Земли	98
4.2. Состояние исчерпаемых возобновимых ресурсов	99
4.3. Состояние исчерпаемых невозобновимых ресурсов.	104
4.4. Пути решения проблемы ресурсов полезных ископаемых.	107
4.4.1. Использование вод и шельфов Мирового океана, горных пород континентальной коры.	107
4.4.2. Охрана и рациональное использование недр.	110
4.4.3. Использование вторичных ресурсов.	113
Глава 5. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.	115
5.1. Тепловые электростанции.	116
5.2. Гидроэлектростанции.	120
5.3. Атомные станции.	123
5.4. Альтернативные источники энергии.	129
Глава 6. ОХРАНА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ	133
6.1. Строение и состав газовой оболочки Земли.	133
6.2. Источники загрязнения атмосферы.	134
6.3. Последствия загрязнения атмосферы.	136
6.3.1. Парниковый эффект.	136
6.3.2. Разрушение озонового слоя	137
6.3.3. Кислотные осадки	138
6.3.4. Смог.	139
6.4. Нормирование атмосферных загрязнений.	140
6.5. Уменьшение загрязнения воздушной среды.	142
6.5.1. Уменьшение загрязнения от промышленных предприятий	142
6.5.2. Уменьшение загрязнения от теплогенерирующих установок.	145
6.5.3. Уменьшение загрязнения от автотранспорта.	146
6.5.4. Использование зелёных насаждений.	147
Глава 7. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.	147
7.1. Характеристика водных ресурсов Земли.	147
7.2. Потребители пресной воды.	149
7.3. Потери пресной воды. Экологические последствия.	150
7.4. Источники загрязнения воды	
Экологические последствия загрязнения природных вод.	152

7.5. Нормирование и регулирование качества воды в водоёмах.	159
7.6. Методы и приборы контроля качества воды в водоёмах.	165
7.7. Очистка сточных вод.	168
7.7.1. Основы процессов и принципы механической очистки стоков. . .	171
7.7.2. Очистка сточных вод от нефтепродуктов.	174
7.7.3. Физико-химические методы очистки сточных вод.	177
7.7.3.1. Коагуляция, флокуляция и электрокоагуляция.	177
7.7.3.2. Сорбция.	178
7.7.3.3. Экстракция.	179
7.7.3.4. Ионный обмен.	180
7.7.3.5. Электродиализ.	181
7.7.3.6. Гиперфильтрация (обратный осмос) и ультрафильтрация.	183
7.7.3.7. Другие методы физико-химической очистки сточных вод.	183
7.7.4. Химическая очистка сточных вод.	184
7.7.4.1. Нейтрализация.	185
7.7.4.2. Окисление.	186
7.7.5. Биологическая очистка сточных вод.	189
7.7.5.1. Влияние факторов на биологическую очистку стоков.	190
7.7.5.2. Методы и сооружения биологической очистки.	191
7.7.6. Глубокая очистка и обеззараживание сточных вод.	193
7.8. Оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий.	195
Глава 8. УМЕНЬШЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТВЁРДЫМИ ОТХОДАМИ.	202
8.1. Классификация твёрдых отходов. Транспортировка твёрдых отходов.	202
8.2. Полигоны для твёрдых отходов.	204
8.3. Хранение и нейтрализация токсичных промышленных отходов. . .	206
8.4. Переработка и утилизация твёрдых отходов.	208
8.4.1. Переработка твёрдых отходов на компост.	208
8.4.2. Рециклизация.	209
8.4.3. Обработка осадка сточных вод.	210
8.4.4. Отходы как источник энергии.	211
8.4.5. Безотходное и малоотходное производства.	211
Глава 9. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.	212
9.1. Защита окружающей среды от ионизирующих излучений	217
9.1.1. Некоторые понятия, термины, величины, единицы измерения	217
9.1.2. Биологическое действие ионизирующего излучения	221
9.1.3. Естественный радиационный фон Земли	222

9.1.4. Радиационное загрязнение биосферы	224
9.1.5. Экологические последствия радиационного загрязнения биосферы	228
9.1.6. Защита окружающей среды от ионизирующих излучений	229
9.2. Защита окружающей среды от электромагнитных загрязнений	235
9.2.1. Естественный электромагнитный фон и связанные с ним процессы в живом веществе. Электромагнитное (радиоволновое) загрязнение биосферы	235
9.2.2. Биологическое действие электромагнитных полей	237
9.2.3. Нормирование электромагнитных полей	238
9.2.4. Защита персонала от радиоволнового облучения.	243
9.2.5. Мероприятия защиты населения от ЭМИ.	245
9.2.6. Защита окружающей среды от тепловых загрязнений.	249
9.3. Защита окружающей среды от виброакустических загрязнений. ...	253
9.3.1. Источники виброакустических воздействий.	253
9.3.2. Характеристики и биологическое действие виброакустических колебаний. Нормирование.	254
9.3.2.1. Акустические колебания.	254
9.3.2.2. Вибрация.	260
9.3.2.3. Инфразвук.	262
9.3.3. Защита окружающей среды от виброакустических загрязнений. .	263
9.3.3.1. Защита от шумов.	263
9.3.3.2. Защита от вибраций.	267
9.3.3.3. Защита от инфразвука.	268
9.3.4. Методы и приборы для измерения шума, инфразвука и вибраций.	269
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	270
ЛИТЕРАТУРА.	274
СОДЕРЖАНИЕ.	280

Владимир Филиппович Панин
Александр Иванович Сечин
Валентина Давыдовна Федосова

ЭКОЛОГИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРА

Учебное пособие

Под редакцией проф., д.т.н. В.Ф. Панина