



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

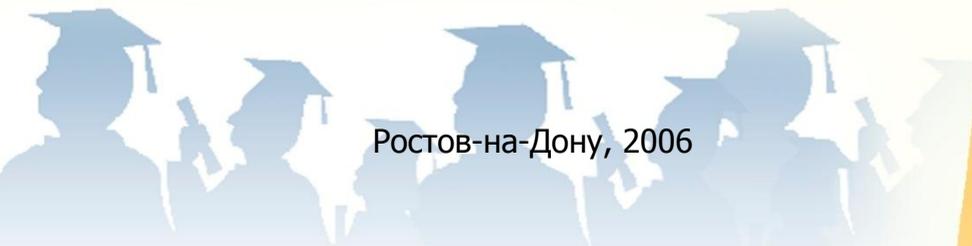
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита
окружающей среды»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

«Инженерная экология»

Автор
Аствацатуров А. Е.

Ростов-на-Дону, 2006





Аннотация

Книга представляет собой одно из основополагающих учебных пособий по инженерной экологии для технических университетов и колледжей. В соответствии с программой всеобщего экологического образования инженеров излагаются основные концепции биосферы, экологии, процессов деградации и загрязнения природы, дается представление о методах, задачах и средствах инженерной экологии и защиты окружающей среды.

Разделы "Философские предпосылки и методологические принципы..." и "Философский подход к проектированию природозащитной техники" написаны с участием к.ф.н. Басилаиа М.А., раздел "Экономика и очистка вод" написан совместно с Дангадзе М.К.

Предназначено для инженеров-экологов, специалистов по инженерной защите окружающей среды, безопасности жизнедеятельности, технологов, проектировщиков и конструкторов, а также для преподавателей, аспирантов и студентов вузов, учителей школ, для всех интересующихся проблемами инженерной экологии и охраны среды.

Автор

А.Е. Аствацатуров, профессор, доктор философских наук





Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БИОСФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ	9
Глава 1. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ	9
1.1. Техносфера.....	13
1.2. Ноосфера.....	14
1.3. Космосфера	17
Глава 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИИ	19
2.1. Предмет экологии	19
2.2. Экосистема. Концепция, классификация,	22
основные понятия	22
2.3. Биогеохимические циклы	27
2.4. Экология человека.....	44
Глава 3. ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	52
3.1. "Закон минимума" Ю. Либиха.....	52
3.2. Температура	54
3.3. Излучение.....	56
3.4. Почва как лимитирующий фактор.....	58
3.5. Вода как лимитирующий фактор.....	62
3.6. Антропогенный стресс как лимитирующий фактор индустриальной цивилизации	73
Часть II. Загрязнение окружающей среды	77
Глава 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	77
4.1. Основные источники загрязнения атмосферы.....	79
4.2. Вредные последствия загрязнений	90
4.3. Регламент загрязнения атмосферы	96
Глава 5. ГИДРОСФЕРА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД	98
5.1. Водные ресурсы Земли.....	98
5.2. Источники загрязнения воды	109
5.3. Экономика и очистка вод	121



Глава 6. Загрязнение и проблемы окружающей среды урбанизированных территорий 128

- 6.1. Источники шума и вибрации 128
- 6.2. Источники электромагнитных излучений 133
- 6.3. Ионизирующие загрязнения окружающей среды ... 138
- 6.4. Почва и ее загрязнения 144

Часть III. ИНЖЕНЕРНАЯ защита окружающей среды.... 147

Глава 7. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ 147

- 7.1. Основные термины и определения 147
- 7.2. Задачи инженерной экологии 153
- 7.3. Методологическая основа создания средств инженерной экологии 157
- 7.4. Принципы инженерной экологии 166
- 7.5. Методы инженерной экологии 169
- 7.6. Связь инженерной экологии с другими науками 173

Глава 8. ЧЕЛОВЕК В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ..... 178

- 8.1. Роль человека в решении экологических задач 178
- 8.2. Человек - управляющее звено системы "человек – техника" 180
- 8.3. Примеры катастроф и аварий с тяжелыми экологическими последствиями 183
- 8.4. Повышение надежности системы 186
- 8.5. Инженерно-эргономические требования к системе "человек-машина среда" (СЧМС) 190
- 8.6. Философские предпосылки и методологические принципы при системном подходе 192
- 8.7. Контроль за качеством инженерной продукции 194

Глава 9. ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 198

- 9.1. Средства защиты человека в условиях развития техносферы 198
- 9.2. Очистка промышленных газов 200
- 9.3. Очистка сточных вод 206
- 9.4. Примеры инженерной защиты от шума 225
- 9.5. Безотходная и малоотходная технологии 228

Постскрипtum..... 237

ПРИЛОЖЕНИЕ 240



Литература..... 245



ПРЕДИСЛОВИЕ

Методология творческой инженерно-экологической деятельности еще недостаточно хорошо разработана и описана, несмотря на значительное повышение во всем мире интереса к этой области науки. Он объясняется тем, что полноценная инженерная деятельность в наше время может быть обеспечена лишь на базе широкого образования, включающего не только фундаментальную физико-математическую, но и столь же основательную методологическую подготовку в области, находящейся на стыке технических и естественных наук.

Последнее десятилетие в деятельности вузов и научных учреждений наблюдается значительный сдвиг в сторону углубления экологических знаний. В процессе обмена опытом, будучи в вузах США, Европы и Азии, нам неоднократно приходилось убеждаться в активной заинтересованности преподавателей в улучшении экологического образования студентов.

Сейчас все очевиднее происходит слияние производственных и природных процессов в единые системы, развивающиеся по своеобразным, еще недостаточно изученным законам. Для изучения состояния, прогнозирования и управления развитием таких систем возникли новые направления в науке, одно из которых – инженерная экология.

В образовательных процессах технических университетов экологические знания, в известной мере, связаны с техническими, инженерными, и в этой связи особая роль отводится учебной и учебно-методической литературе по инженерной экологии и защите окружающей среды.

Предлагаемая вниманию читателей книга профессора ДГТУ А.Е. Аствацатурова – одна из первых работ такого направления, вызвавшая интерес и студентов и специалистов по защите окружающей среды, выходящая в свет во втором издании с некоторыми новыми дополнениями.

Она основана на цикле лекций, читаемых в течение ряда лет автором, имеющим многолетний опыт научной, производственной, педагогической деятельности, и на работах, опубликованных им ранее. Предлагаемое учебное издание выгодно отли-



Инженерная экология

чается от других учебников и руководств тем, что в нем в значительной мере реализовано стремление изложить закономерности экологии, защиты окружающей среды в связи с прикладными направлениями инженерных наук. Учебник отличают ясность и логичность изложения, объединяющие несколько самостоятельных областей исследования, которые автор соподчинил одной задаче; и еще - четкая практическая направленность: везде, где только можно, автор обращается к нашим повседневным реалиям и современным, актуальным для общества, проблемам.

Книга характеризуется рядом особенностей, первая из которых - тщательно разработанный комплекс основных терминов и понятий. Вторая особенность – постоянная ориентация на системный подход как методологическую основу создания любых технических средств, взаимодействующих с человеком и окружающей средой, третья – рассмотрение морально-этических аспектов инженерной деятельности с акцентом на ответственность инженера-эколога перед обществом и природой. И четвертая – дидактическая направленность с подробным описанием и повторением в различных формах основных положений.

Учебное пособие будет интересно и полезно студентам практически всех инженерных специальностей, изучающих дисциплины, связанные с инженерной защитой окружающей среды, аспирантам и преподавателям вузов, широкому кругу специалистов, а также всем тем, кто интересуется современным состоянием этой дисциплины с целью профессионального совершенствования. Этим читателям сведения по экологии, инженерной защите окружающей среды не просто полезны, а действительно необходимы.

В заключение хотелось бы выразить глубокое удовлетворение тем, что коллективы ученых и профессорско-преподавательского состава технического университета стали проявлять больше интереса и внимания к экологическому воспитанию и образованию молодых специалистов. Это существенные шаги на подступах к решению важной задачи: добиться качественного сдвига в процессе формирования экологической культуры и массового ее включения в реализацию экологической по-



литики.

Председатель совета ректоров вузов
Ростовской области, ректор ДГТУ,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ,
академик Российской академии технических наук,
почетный академик Международной академии
наук экологии и безопасности жизнедеятельности,
ассоциированной в ООН

А.А. Рыжкин



ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БИОСФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ

ГЛАВА 1. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

Биосфера - (греч . bios - жизнь , sphaira - шар) - это оболочка Земли, включающая область распространения жизни и часть вещества планеты, которое состоит в постоянном обмене с живыми организмами. Впервые представление о биосфере как наружной оболочке нашей планеты было предложено Ж.Б. Ламарком(1744-1829) в начале 19-го века. В научный обиход термин "биосфера" ввел австрийский ученый Э. Зюсс (1875), выделивший ее как одну из земных оболочек.

Основы научного понимания биосферы заложил русский ученый Владимир Иванович Вернадский (1863-1945). По Вернадскому биосфера - область существования живого вещества, которая включает нижние слои атмосферы (до озонового пояса - на высоте около 25 км), всю гидросферу (до максимальных глубин) и верхнюю часть литосферы. Однако определение биосферы, отмечал В.И. Вернадский, только как области жизни неполно. Биосфера включает:

- 1) живое вещество;
- 2) биогенное вещество, т.е. органоминеральные или органические продукты, созданные живым веществом (каменный уголь, нефть, торф, известняк, гумус и т.д.);
- 3) биокосное вещество, созданное живыми организмами вместе с неживой природой (вода, атмосфера, осадочные породы).

Чем же отличаются живые организмы от остальных (косных) природных веществ? Отвечая на этот вопрос, обычно говорят, что живые существа - это те, которые могут размножаться, двигаться и т.д. Это утверждение не полностью отражает суть отличия живого вещества. Основной отличительной способностью живого от неживого вещества является способ использования энергии.



Инженерная экология

Живое вещество - это уникальный природный объект, обладающий способностью принимать и использовать энергию, идущую из Космоса. Улавливая энергию, прежде всего в виде солнечного света, живой организм может удерживать ее в качестве энергии сложных органических соединений, передавать или трансформировать в механическую, химическую, электрическую, тепловую и другие виды энергии. Косные (неживые) вещества не обладают возможностями столь сложных преобразований энергии. Обычно они принимают энергию и рассеивают ее в окружающую среду. Вторая особенность живых организмов - их уникальная способность к самовоспроизведению. Производство новых, идентичных по структуре и функционированию поколений является не только копированием, но и характеризуется изменчивостью признаков из поколения в поколение. А это приводит к гибкой адаптивности и способности приспособления живых организмов к условиям обитания в процессе эволюции. Таким образом, можно отметить особые отличия живого вещества по сравнению с косной природой. Они заключаются в присутствии в живом организме химических соединений, обладающих: способностью к самовоспроизведению; способностью создавать полимерные оболочки, служащие защитой и ограждением живого вещества от косного; способностью осуществлять химические реакции в условиях обычных параметров среды и способностью передавать химическую энергию с высокой скоростью.

Живые организмы различаются по массе - от микробов весом тысячные доли грамма до кашалотов весом 100 т и более; по продолжительности жизни - от нескольких часов у бактерий, до 5000 лет и более у японской криптомерии. Самой существенной особенностью биосферы является биогенная миграция атомов химических элементов, стимулируемая солнечной энергией. "При этом организмы связаны, - отмечал В.И.Вернадский, - с окружающей средой биогенным током атомов: своим дыханием и размножением".

Биосфера является мощной геологической силой, формирующей равновесие газов, жидкой и твердой фаз Земли и поставляющей огромную часть свободной энергии для усиления



техносферы.

Пределы биосферы ограничиваются физическими условиями существования живых организмов. По современным представлениям, существование жизни обусловлено границами температур от $+160$ до -250°C и давлением от $0,001$ до 3000 атм. Нижняя граница жизни в водной среде проходит на глубине 11500 м, в литосфере (в земной коре) - на глубине более 3000 м (на глубине 4500 м в нефтеносных водах обнаружены микроорганизмы). Верхняя граница распространения жизни в атмосфере обусловлена высотой озонового слоя, служащего для живых организмов защитной средой от смертоносного ультрафиолетового излучения Солнца и расположенного на высоте $25-45$ км над уровнем моря.

Последнее время в атмосфере обнаружены некоторые виды жизнеспособных микроорганизмов в состоянии покоя на высоте около 80 км. Жизнь встречается и на вершинах высочайших в мире гор на высоте 8839 м выше уровня моря.

Биомасса современной биосферы составляет около $2,5$ трлн. т сухого вещества (около 99% этой массы приходится на зеленые растения). Образование нового органического материала, т.е. чистая ежегодная продуктивность биосферы, составляет около 10% ($150-200$ млрд. т сухого вещества). При этом примерно $1/3$ от годового суммарного показателя производства биомассы составляют морские фотосинтезирующие растения и микроорганизмы (хотя они имеют вес примерно в 100 раз меньше, чем наземные виды).

Каков же общий объем биосферы? Жизнь в биосфере сосредоточена примерно в диапазоне нескольких десятков километров выше и ниже поверхности Земли. Поскольку радиус нашей планеты составляет около 6400 км (4000 миль), а толщина слоя атмосферы 288 км (180 миль), можно подсчитать, что слой биосферы (тонкий) составляет менее 1% общего объема планеты. А геологический объем биосферы, который определяется с учетом непрерывного отложения части объема производимой ею биомассы, находящейся вне цикла пищевой цепи, составляет, по совре-



менным данным, более 4% от общего объема нашей планеты.

Энергия биосферы характеризуется следующим показателем: в умеренных и тропических широтах величина солнечной радиации, достигающей Земли, составляет около 700 Вт/м^2 . Часть этой энергии теряется при прохождении через атмосферу, облака и т.д. Растениям и микроорганизмам, существующим за счет фотосинтеза, остается энергии примерно $150\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$, из которых они усваивают 0,2-1%, т.е. $0,5\text{-}3 \text{ Вт/м}^2$. Общая величина энергии за год, получаемой путем биосинтеза в биосфере, составляет $40 \cdot 10^{12}$ Вт. В.И.Вернадский считал наличие фотосинтезирующих организмов решающим фактором активной жизни биосферы, так как именно они осуществляют постоянную связь между нашей планетой и космосом, используя солнечную энергию для получения различных химических элементов. "К сожалению, - писал В.И.Вернадский, - наши современные знания не позволяют учесть, какую часть всего живого вещества составляет зеленый мир растений".

В наше время учеными составлены мировые карты растительности и почв, установлено, что в живом веществе Земли основная роль принадлежит растительным фотосинтезирующим организмам, которые составляют 95-99% всей массы живого вещества. Суммарные запасы фитомассы Земли, по данным ученых, оцениваются в $2402,5 \cdot 10^9$ т (количества органического вещества измеряется в единицах сухого веса); суммарная годовая продукция фитомассы суши оценивается в $171,54 \cdot 10^9$ т.



1.1. Техносфера

Под влиянием цивилизованного человечества биосфера претерпевает существенные изменения. В настоящее время преобразующей силой на нашей планете стала *техносфера*, приводимая в действие человеком.

Промышленная революция ознаменовала приход технической культуры, которая с возрастающей силой захватывала не только производство, но и быт. Превосходство технического прогресса над эволюционными процессами природы дало возможность техносфере соперничать с биосферой в перемещении биомассы на планете. С развитием техносферы биосфера столкнулась с быстро распространяющимися новыми видами биомов: сельскохозяйственным и городским. (Биом – крупная биосистема (региональная, континентальная), характеризующаяся каким-либо типом растительности, например, биом лиственных лесов умеренного пояса. Самая крупная биосистема, близкая к идеалу, – это биосфера). Достижение технического прогресса и неразумное использование человечеством ресурсов биосферы создало реальную опасность, связанную с последствиями загрязнения природной среды промышленными отходами. В наше время техносфера начала свое независимое существование, вышла из повиновения эволюционных тенденций биосферы. Развиваясь по своим собственным законам, техносфера чаще создает противоречие, чем сотрудничество с биосферой. Грозными примерами противостояния служат накопленные арсеналы ядерного оружия и нейтронная бомба - печальные плоды творческих амбиций "не вполне психически уравновешенных представителей техносферы". Это свидетельствует о том, что коэволюция, т.е. совместная эволюция человека и биосферы - процесс мучительный и небыстрый, связанный, прежде всего, с выработкой новых принципов согласования действий общества с природой, перестройкой нашего бытия и мышления, сменой стандартов и идеалов.



1.2. Ноосфера

Ноосфера (от греческого слова "ноос" - разум; сфера разума). Теория ноосферы впервые была выдвинута В.И.Вернадским в 20-х годах. Само понятие "Ноосфера" (сфера разума) было предложено французским математиком и философом Э. Леруа в 1927г. и в дальнейшем широко использовалось П.Тейяр де Шарденом. Впервые, по-видимому, этот термин был оглашен Э. Леруа в 1924 г. на семинаре Бергсона в Париже во время обсуждения доклада В.И.Вернадского, изложившего тогда свою концепцию развития биосферы. Как отмечал сам Э.Леруа, импульсом к разработке его концепций о ноосфере послужили идеи В.И.Вернадского, с которым французский ученый познакомился, посещая лекции Вернадского в Сорбонне в начале 20-х годов. Сам Вернадский начал употреблять термин "ноосфера" в последние годы своей жизни. Однако в отличие от Леруа и Тейяра де Шардена, Вернадский придал понятию ноосфера совершенно другое содержание. Если у французских ученых с этим термином были связаны идеалистические и теологические идеи, то у Вернадского он был связан с неизбежно наступающим временем, когда человечество должно строить свою деятельность и свои взаимоотношения с природой на научной основе. Вернадскому принадлежит высказывание о том, что согласованное с Природой развитие общества, ответственность за будущее этого развития потребует новой организации общества и создания таких структур, которые смогут обеспечить гармоническое развитие общества и Природы. Отсюда, ноосфера - это состояние биосферы, при котором происходит целенаправленное развитие его. Тогда разум будет иметь возможность направлять развитие биосферы в интересах Человека, его будущего.

Обосновав высшую стадию эволюции биосферы, связанную с цивилизацией, управляемой разумной деятельностью человека, В.И.Вернадский писал: "Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупной геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать ко-



ренным образом по сравнению с тем, что было раньше" (1988).

Согласно системе взглядов Вернадского, которая превратилась в стройное учение о ноосфере, единство эволюционных процессов представляет собой космическое явление. Лейтмотивом этого учения, доминирующей мыслью явилось утверждение о том, что воздействие человечества на окружающую природу растет столь быстро, что в недалеком будущем человеческое общество превратится в основную геологическую силу. На определенной ступени своего развития человечество должно будет принять на себя ответственность за дальнейшую судьбу развития биосферы и нашей планеты в целом.

Инженерная деятельность становится, как уже было отмечено, природоохранной системой по своей сути и своим характеристикам. Практическая ориентированность экологического моделирования проявляется в определенной деятельности, касающейся всеобщих механизмов человеческого разума. Если кратко охарактеризовать методологическую основу этой деятельности, то суть дела состоит в том, что человек, создавший вокруг себя мир и сам ставший технозированным, в своих действиях в отношении природы должен ориентироваться не столько на прямую и грубую силу, сколько на мудрость созидания. Именно это, как нам представляется, имел в виду В. И. Вернадский, когда предсказывал еще в 1944 г. наступление новой эры в отношениях человека и окружающей его среды - ноосферы.

В современной, все обостряющейся у нас на глазах экологической ситуации мы все чаще сталкиваемся с разладом производственной деятельности и жизнедеятельности экосистем биосферы. Проблемы оптимизации биосферы носят ярко выраженный междисциплинарный характер.

Вспомним, что гиперболизм, преувеличение роли техники в решении экологических задач, ведет к несистемным подходам. В литературе можно встретить и такое мнение, что охрана окружающей среды в нынешних условиях научно-технического прогресса - проблема по преимуществу техническая, включающая в себя разработку и внедрение малоотходных технологий, замкну-



Инженерная экология

тых циклов производства, использование современных санитарно-гигиенических и других средств очистки воздушной среды от пыли и газов, защиту вод от различных загрязняющих стоков, рекуперацию, регенерацию и утилизацию отходов, являющихся подчас ценным материалом. Все эти технические меры, вне всякого сомнения, чрезвычайно значимы. Но экологическая проблема в целом не техническая, а комплексная. Системная дисциплина и здесь, очевидно, требует системного видения этих проблем и реальных экологических ситуаций с учетом человеческого фактора и путей развития цивилизаций. И в изучении, и в решении этих задач экологического характера возрастет роль инженерной экологии, развиваемой на базе системного подхода, т.е. науки, которая предназначена решать вопросы развития техносферы и ее высшей ступени - ноосферы - с позиции создания техники и производства, т.е. в органической взаимосвязи с факторами человека, безопасной жизнедеятельностью любых организмов и всей природы. На современном этапе развития цивилизации подход такого рода есть значительный шаг на пути защиты общества, биосферы, всех планетарных систем от разрушения и катастроф.

Учение о ноосфере ознаменовало появление принципиально нового понимания развития глобальных процессов нашей планеты, новой ориентации наук. Оно означало переход к исследованию развития окружающей среды и общества в неразрывной связи, глубокому изучению процессов взаимодействия техносферы, биосферы и человеческого общества. И в этом великом объединении развитие планеты должно стать гармоничным и направленным - направляемым силой разума!



1.3. Космосфера

Перспектива величайших событий, связанных с распространением земной биосферы в космосе, будоражит воображение, но не может быть нами прогнозируема.

Продлить жизнь живой природы и снять пространственные ограничения, перенося биосферу в космические пространства, человек может только в тесном союзе с природой, делая обдуманый, научно обоснованный выбор совокупности обстоятельств. В действительности Жизнь на Земле своим происхождением обязана не только самой планете, но и всему комплексу обстоятельств, сложившихся в данном регионе Галактики, связанных с пространством и временем. Человечество должно использовать все доступные средства для выполнения миссии сохранения живой природы планеты и осуществить проникновение в космосферу.

Для того чтобы способствовать распространению биосферы Земли в космосе и достичь обоснования ее на других планетах, мировое сообщество прилагает усилия, направленные на создание новых моделей биосферы того мира, в котором мы живем сегодня. Такие модели откроют возможности изучения эволюции живой природы в новых экологических условиях и позволят сделать шаги к созданию космических биосфер будущего.

Одной из этих попыток является разработка экспериментальной биосферы - **"Биосфера 2"**, призванной решить проблему создания улучшенного местообитания человека на Земле и в Космосе. Для получения возможности обоснования жизни в других районах Вселенной необходимы сложные саморазвивающиеся биосферы. С использованием математического моделирования и современной научной базы изучения состояния природной среды, а также всего генетического богатства биосферы Земли в 1984 г. сделана попытка создания экспериментального комплекса "Биосфера 2" в штате Аризона (США) на площади 2,5 акра (1 га) - экологической системы с замкнутым циклом и регенерацией отходов. В комплексе размещены различные биомы: влажный



Инженерная экология

тропический лес, саванна, океан, болота, пустыни, ственные уголья и города. Подобные биосферы, по мнению авторов проекта (фирма "Спейс биосферес венчес" США), могут представлять долговременные саморегулирующиеся комплексы, в которых поддерживаются условия для жизнедеятельности организмов. Эти системы открывают путь к созданию постоянно обитаемых космических поселений, которые могут быть расположены в космическом пространстве в условиях невесомости или на поверхности других планет.

Целью создания "Биосферы 2" стало стремление смоделировать реальные возможности биосферы для спасения Земли в случае возникновения экстремальных условий (а такие условия в связи с загрязнением планеты уже формируются), обеспечить подходящие для жизни новые условия. Сначала такие места могут быть определены в Солнечной системе, далее - в нашей Галактике, позже - во всей Вселенной.



ГЛАВА 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКОЛОГИИ

*Все усилия при воспитании окажутся тщетны,
пока вы не научите ваших
воспитанников любить поле, птиц и цветы.
Д. Рескин*

2.1. Предмет экологии

Учение о биосфере послужило научной основой для развития науки экологии - дисциплины, синтезирующей естественные и гуманитарные науки. Восходя из колыбели биологических наук, экология обретает новое мощное направление. Это точная наука, потому как она использует концепции, методы и аппарат математики, физики, химии и других естественных наук. Вместе с тем - это гуманитарная наука, ибо экосистемы, их структуры и функции оказывают важное влияние на человека.

Что же представляет собой *экология*? Слово "экология" образовано от греческого "ойкос", означающее место обитания, жилище, дом, и "логос" - наука. Все живые организмы, населяющие биосферу нашей планеты, испытывают на себе влияние условий обитания и, вместе с тем, сами воздействуют на окружающую среду. Закономерности существования и развития сообществ растений и живых организмов во взаимодействии с окружающей средой обитания изучаются экологией. Как и другие области знаний, экология развивалась на протяжении всей истории человечества. В древнем Египте сведения об экологических знаниях восходят к источникам, связанным со временем жизни замечательного мыслителя и врача Имхотепа (около 2800-2700 гг. до н.э.). В сохранившихся древнеегипетских папирусах, относящихся к 2500-1500 гг. до н.э., также излагаются мысли экологического характера о жизни, природе и здоровье, о проблемах смерти,



Инженерная экология

которые, по мнению ученых нашего времени, поражают своей исключительно научной точностью и ясностью изложения при отсутствии религиозно-мистических наслоений. Египетская цивилизация на протяжении нескольких тысячелетий жила и творила весело, с подъемом жизненной энергии. Источник жизненных сил и столь долгого процветания Египта таится в отношении египтян к миру и его природе, в их понятиях о совести и душе, о жизни на Земле и судьбах людей в неразрывной связи и гармонии со средой обитания. В другую, более позднюю, эпоху труды Гиппократ, Аристотеля и других древнегреческих философов содержат мысли экологического характера. Однако термин "экология" был предложен немецким биологом Эрнестом Геккелем (Ernst Haeckel) в 1869 г. "Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и, прежде всего - его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт" - писал Э. Геккель в своем труде "Всеобщая морфология организмов" (1966).

В толковом словаре Уэбстера дано определение: "Предмет экологии - это совокупность или структура связей между организмами и средой их обитания". Еще проще экологию определяет наш отечественный энциклопедический справочник (СЭС, 1985): наука об отношениях растительных и животных организмов или сообществ между собой и окружающей средой.

Как научная дисциплина экология имеет более чем вековую историю. Но систематические экологические исследования и экологизация науки и образования были начаты только во второй половине 20-го столетия. Становление экологии и смежных с ней дисциплин связано с именами многих выдающихся естествоиспытателей: из зарубежных - Ж.Ламарк, Ж.Бюффон, А.Гумбольдт, Э.Зюсс, Ф.Шеллинг и Г.Гегель, из отечественных ученых - В.Д.Докучаев, К.А.Тимирязев, К.Э.Циолковский, Н.Ф.Федоров, С.И.Вавилов, В.Н.Сукачев, В.И.Вернадский, А.П.Виноградов и другие.

Структура современной экологии в последние годы бурно



Инженерная экология

развивалась. Общая биоэкология расчленилась на аутоэкологию, синэкологию, популяционную, глобальную экологию, биогеоэкологию, экологию растений, животных, микроорганизмов, водных организмов. Быстро развивается геоэкология, включающая экологию суши, моря, пресных вод, высокогорий и другие. Экология человека состоит из новых дисциплин: экологии города, народонаселения, личности, человечества, этноэкологии, экологии культуры (последние четыре предмета входят в социальную экологию). Появились и отдельные дисциплины прикладной экологии, в число которых вошли промышленная (инженерная экология), технологическая, медицинская, химическая, сельскохозяйственная, промысловая, рекреационная, геохимическая экология. При этом возникают философские, социальные, экономические, этические и другие аспекты.

Предметом экологии является физиология и поведение отдельных организмов в естественных, природных условиях обитания (аутоэкология), рождаемость, внутривидовые отношения, миграция, смертность (динамика популяций), взаимоотношения между различными видами, потоки энергии и круговорот веществ (синэкология).

Основные *методы экологии* - это наблюдения, мониторинг, эксперименты в реальных условиях, моделирование процесса в популяциях с помощью вычислительной техники.

Экологическим фактором называется элемент среды, оказывающий влияние на живой организм в какой-либо из стадий его индивидуального развития.

Принято классифицировать экологические факторы на биотические (живые) и абиотические (неживые). В настоящее время выделились также антропогенные экологические факторы.



2.2. Экосистема. Концепция, классификация, основные понятия

Понятие "экосистема" было введено в 1935 году английским ботаником А.Тенсли, а определенные высказывания о единстве организмов и среды появились и ранее в трудах немецкого ученого К. Мебиуса, американского биолога С.Форбса, русских ученых В.В.Докучаева, Г.Ф.Морозова, В.Н.Сукачева.

Экосистема - это основная функциональная система в биосфере, представляющая совокупность сообщества живых организмов и среды их обитания, находящихся в естественной взаимосвязи, обеспечивающей их жизнедеятельность. Различают микроэкосистемы (например, дерево), мезоэкосистемы (луг, лес, озеро и др.), макроэкосистемы (океан, материк), глобальная экосистема (биосфера).

Экосистемы классифицируются по функциональным, или структурным, характеристикам, а также исходя из типа растительных или основных признаков ландшафта. Какой-либо традиционной единой классификации типов экосистемы в практике экологических исследований не принято, и это разнообразие подходов полезно.

Приведем примеры. Классификация наземных биомов осуществляется по естественным или исходным признакам растительности, типы водных экологических систем различают по геологическим и физическим признакам. В табл.2.1 приведены шестнадцать основных типов экосистем, представляющих характерную среду развития человеческой цивилизации.



Таблица 2.1

**Основные типы природных экосистем и биомов биосферы
(по Ю. Одуму, 1986)**

Типы природных экосистем	Примеры
Наземные биомы	Тундра: арктическая и альпийская Бореальные хвойные леса Листопадный лес умеренной зоны Степь умеренной зоны Тропические грансленд и саванна Чапараль - районы с дождливой зимой и засушливым летом Пустыня: травянистая и кустарниковая Полувечнозеленый тропический лес: влажный и сухой Вечнозеленый тропический дождевой лес
Пресноводные экосистемы	Лентические (стоячие воды): озера, пруды и т.д. Лотические (текучие воды) реки, ручьи и т. д. Заболоченные угодья: болота и болотистые леса
Морские экосистемы	Открытый океан (пелагическая) Воды континентального шельфа (прибрежные воды) Районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством) Эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, соленые марши и т. д.)

Все экосистемы, включая самую крупную из них - биосферу, представляют собой открытые системы, которые должны получать и отдавать энергию. Это означает, что экосистемы, входя-



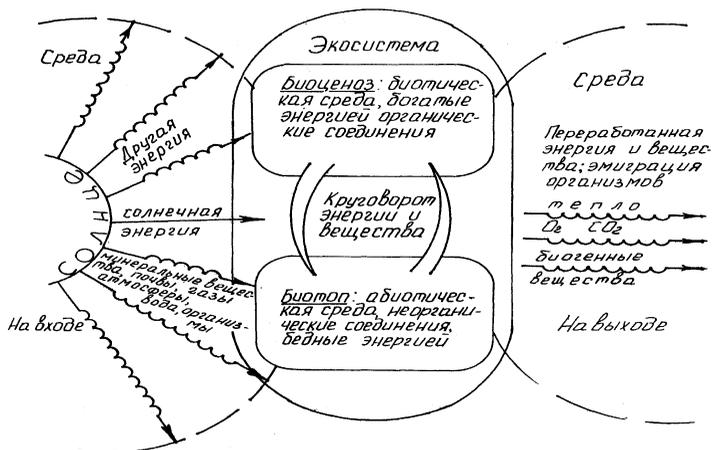
щие в биосферу, также открыты для потоков веществ, для перемещения через них (входа и выхода из них) организмов. Из этого вытекает и понятие концепции.

Концепция экосистемы, т.е. система взглядов на экосистему, должна учитывать существование совокупности взаимосвязанных и необходимых для жизнедеятельности энергии и веществ на входе и выходе среды.

Эта особенность показана на рис.2.1 в виде схематической модели круговорота энергии и вещества в экосистеме. Данная модель состоит из биотической (биоценоза) и абиотической (биотоп) части, связанных обменом веществ. В экосистему поступает энергия солнца, газы атмосферы, вода и минеральные вещества почвы. Из нее же выделяются тепло, кислород, углекислый газ, биогенные вещества, переносимые водой, перегной.

Рис.2.1. Схема круговорота энергии и вещества в экосистеме

Масштабы изменения среды на входе и выходе зависят от рода переменных и могут очень сильно варьироваться. К переменным такого рода можно отнести размеры системы, интенсив-



ность обмена, взаимодействие или сбалансированность **автотрофных** и **гетеротрофных** процессов.

Границы рассматриваемых экосистем могут быть определены как достаточно точно (например, геометрические границы



города), так и условно, когда переходы между экосистемами постепенны (например, переход между лесом и степью или между топяным болотом, тростниковым болотом и озером). Поэтому экосистемы отличаются не столько определенными числами и неподвижными границами, сколько средними значениями и границами разброса.

Структура экосистем включает в себя пищевые цепи, которым принадлежит особая роль в экономике экосистем. Эти цепи составляют трофические структуры (от греч. trophy - питание), по которым происходит перенос энергии и круговорот веществ.

С позиции трофической структуры экосистему можно разделить на два яруса, или пласта: 1) верхний - *автотрофный* (греч. autos - сам, trophies - пища), т.е. самостоятельно питающийся пласт, или "зеленый пояс", включающий растения или их части, и 2) нижний - *гетеротрофный* (греч. heteros - другой), т.е. питаемый другими пласт, или "коричневый пояс" почв и осадков. Рассматривая же биологическую сущность состава экосистемы, следует выделить: 1) неорганические вещества (C, N, CO₂, H₂O и др.), входящие в круговорот; 2) органические соединения (белки, углеводы, липиды, гумусовые вещества и т.д.), связывающие биотическую и абиотическую части; 3) воздушную, водную и субстратную среду, включающую физические факторы; 4) проценты автотрофных организмов (зеленые растения, производящие пищу из неорганических веществ); 5) *макроконсументы* или *фаготрофы* (от греч. phagos - пожирать) - гетеротрофные организмы, в основном животные, питающиеся другими организмами; 6) *микроконсументы* - гетеротрофные, в основном бактерии и грибы или *осмотрофы* (от греч. osmos - толчок, давление).

Пищевой цепью называется перенос энергии пищи от ее источника - автотрофов (растений) - через разные организмы путем поедания одних другими. Пищевые цепи так или иначе знакомы каждому из нас: траву поедает корова, мясо которой становится пищей для человека, или другой пример - фитопланктон, живущий от солнечной энергии, становится пищей зоопланктона, последний поедается мелкой рыбой, которую съедает крупная рыбы, ставшая пищей для человека.



Инженерная экология

Все пищевые цепи входят в круговороты материи, ведущие от продуцентов к дистрибуентам. Представители трофных уровней, представленных выше, связаны между собой односторонней передачей биомассы в цепи питания. Цепи хищников начинаются с продуцентов: клевер - овца - волк; планктонные водоросли - дафния - плотва - щука. Цепи паразитов могут начинаться и с *продуцентов* (яблоня - щитовка - наездник) и с *консументов* (овца - муха - кровососка - бактерии - вирусы).

Экология занимается системами различного уровня организации (от организмов до экосистем). *Популяция* обозначает группы особей различных видов организмов, *сообщество* включает в себя все популяции данного объекта. Закономерности взаимоотношений организмов и среды их обитания проявляются на уровне особей, биоценоза и биогеоценоза.

Популяция (от лат. *populus* - народ) - это совокупность организмов одного вида, совместно обитающих и населяющих общую территорию. По Ю.Одуму, популяцию можно определить как любую группу организмов одного вида (или иную группу, внутри которой особи могут обмениваться генетической информацией), занимающую определенное пространство и функционирующую как часть биотического сообщества. Любая популяция обладает генетическими свойствами, связанными с экологией. Основными характеристиками популяции являются: рождаемость, смертность, плотность, возрастная структура, соотношение полов, биотический потенциал, распределение в пространстве (дисперсия), кривая роста и др.

Популяции организмов, закономерно взаимодействующие между собой в пространстве, представляют собой *биоценоз*. Термин биоценоз (от греч. *bios* - жизнь, *koinos* - общий) впервые введен немецким биологом К.Мебиусом, а в исследованиях американского ученого С.Форбса были заложены основы понятия об экосистеме.

Биоценоз, или сообщество организмов, - это ассоциация взаимодействующих растений и живых организмов в ограниченном пространстве, в котором преобладают определенные виды организмов или физический фактор.



Длительное существование различных видов организмов лежит в основе формирования многовидовых сообществ - биоценозов. Подбор видов в биоценозах не случаен, а определяется возможностью непрерывного поддержания круговорота.

Соответственно, используя термины: совокупность растений - *фитоценоз*, животных - *зооценоз*, микроорганизмов - *микрорценоз*, организмов, населяющих органическое жизненное пространство - *биотоп*.

Экологическая система, или *биогеоценоз*, представляет собой систему взаимодействия живой (биоценоз) и неживой (косной) природы. Термин "биогеоценоз" введен в науку российским академиком В.Н.Сукачевым, под которым понимается участок биосферы, однородный по топографическим, микроклиматическим, гидрологическим и биотическим условиям.

В состав биогеоценоза входят:

- 1) растительное сообщество - фитоценоз;
- 2) животный компонент - зооценоз;
- 3) микробные биоконплексы - микробоценоз;
- 4) почва и почвенно-грунтовые воды, которые, взаимодействуя с растениями и микроорганизмами, образуют *эдафотоп*;
- 5) косное вещество - неживая природа, образующая *эко-топ*;
- 6) атмосфера, взаимодействующая с компонентами биогеоценоза, образует *климатоп*.

Крупная же биосистема регионального или континентального значения, характеризующаяся определенным типом растительности или спецификой ландшафта, обозначается термином *биом*.

2.3. Биогеохимические циклы

Круговороты химических элементов в биосфере, трассирующихся из внешней среды в живые организмы и растения и обратно во внешнюю среду, называются *биогеохимическими циклами*. "Био" указывает на отношение к жизни, живым организмам,



Инженерная экология

а "гео" - к земной коре, к земному шару, воздуху и воде. Термин *биогеохимия* был впервые предложен В.И.Вернадским и окончательно закреплен в науке после публикации Дж.Хатчинсона в 40-х годах (1943-1950 гг.). Биогеохимия изучает обмен веществ между живыми и неживыми составляющими биосферы. Движение необходимых для жизни элементов и неорганических соединений называют круговоротом элементов питания, который в биосфере можно подразделить на два основных типа: круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере и осадочный цикл - в земной коре.

В биогеохимических циклах участвуют различные элементы, среди которых такие, как углерод, водород, кислород и азот, потребляются организмами в больших количествах. Человек уникален не только тем, что из более чем 90 элементов, известных в природе, его организм нуждается в 40 различных элементах, но и тем, что в своей жизнедеятельности он так или иначе использует почти все другие элементы природы. Более того, человек включает в циклический процесс все больше и больше искусственных элементов, создаваемых им, нисколько не проявляя заботы об экологических последствиях такого "содействия" природе. Возникает дисбаланс веществ (в частности, локальные избытки или дефицит), круговорот начинает деформироваться, терять цикличность (иначе говоря, процессы становятся несовершенными), нарушается процесс возвращения в круговорот. Известно, что там, где по тем или иным причинам круговорот жизненно важных элементов снижается или уменьшается, наступает биологическая катастрофа, в результате которой гибнут огромные количества рыбы, водоплавающих птиц и других животных. Одной из известных биологических катастроф является Эль-Ниньо, происходящая в зоне Перу в Южной Америке. Из-за "водяного парникового эффекта", когда по не известным еще причинам проникающие с севера теплые течения покрывают глубинные холодные воды, обогащенные биогенными веществами, существенное уменьшение фитопланктона приводит к голоду, гибнут десятки миллионов тонн рыб, птицы, гнездящиеся на побережье, покидают зону катастрофы.



Одним из главных направлений усилия по охране природы общества должно стать сохранение цикличности процессов и восстановление равновесия фондов химических элементов в круговоротах. Биологические катастрофы во многом связаны с движением и круговоротом воды, с их непрерывной изменчивостью. В своей природоохранной деятельности мы должны постигнуть методы восстановления и поддержания круговорота воды, углерода, кислорода и других элементов, а также мониторинга - контроля динамики элементов питания в этих средах - это одна из важных ступеней нерешенных проблем в экологии.

2.3.1. Круговорот кислорода

Биогеохимический цикл кислорода является глобальным процессом, охватывающим планетарные системы: атмосферу, гидросферу и литосферу. В атмосфере кислород находится в виде атомарного кислорода "O", молекул "O₂" и озона "O₃". Жизнь, создающая в земной коре свободный кислород, писал В. И. Вернадский, тем самым создает озон и предохраняет биосферу от губительных коротких излучений небесных светил". Круговорот кислорода (рис.2.2) - пример очень сложного цикла газообразных веществ, так как, совершая свой путь между атмосферой и живыми организмами, кислород обретает много химических форм. Так, в процессе фотосинтеза кислород выделяется зелеными растениями, тогда как при потреблении кислорода животными, при дыхании происходит противоположное обращение. В ряде окислительных процессов в природе, например, в верхних слоях атмосферы, образуется кислород (правда, в меньших количествах) под воздействием ультрафиолетовых лучей солнца в процессе диссоциации молекул воды и озона.

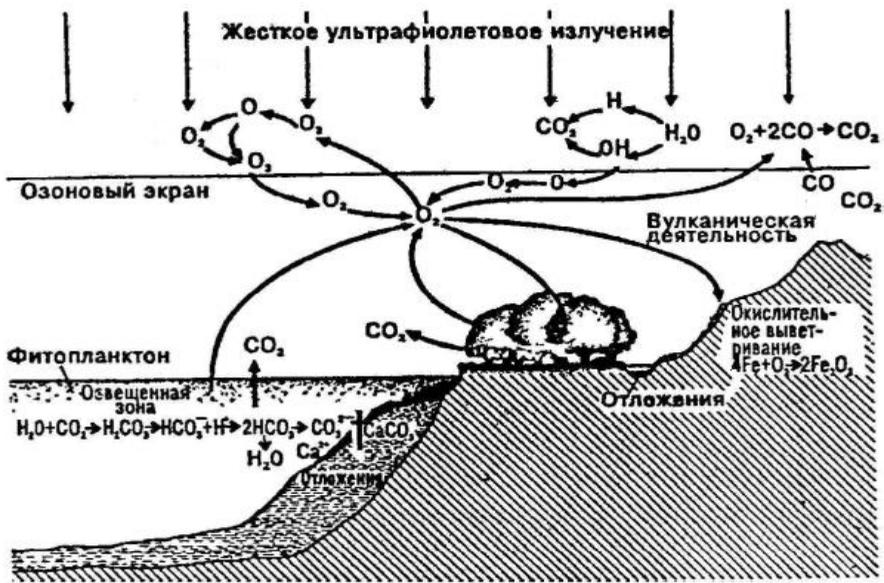


Рис.2.2. Круговорот кислорода в биосфере (по П. Клауду, А. Джибору 1972)

2.3.2. Круговорот воды

Круговорот воды в природе занимает особое положение в науках о Земле как процесс, непосредственно связанный с существованием жизни на планете. Такое важное явление, как круговорот воды, вызвала появившаяся на Земле жидкая вода, справедливо оцененная в далекой древности как одно из начал всего существующего в мире. Каков же этот процесс, ставший активным фактором формирования условий жизни и климата на нашей планете?

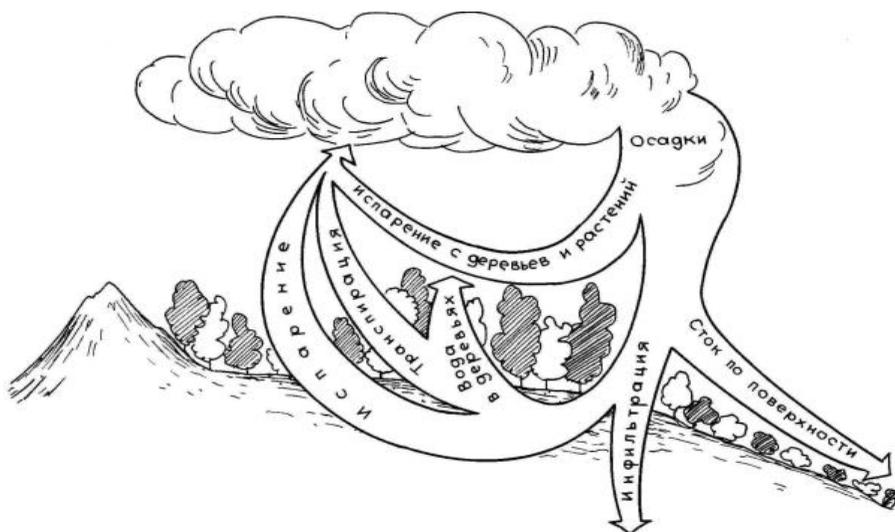


Рис.2.3. Круговорот осадков в гидросфере

Огромная масса воды на Земле представляет собой гигантское хранилище тепла, постоянно поступающего в атмосферу. Под воздействием солнечного тепла вода нагревается и испаряется с колоссальной поверхности планеты, а захватываемые и переносимые мощными воздушными потоками пары воды затем конденсируются и возвращаются на землю в виде осадков (рис.2.3). Такой круговорот осадков имеет важное значение в механизме циркуляции атмосферы, а следовательно, и в формировании климата и условий погоды на Земле.

Солнечная энергия, получаемая океаном, способствует активному испарению воды, которая затем перераспределяется в системе "атмосфера - гидросфера". Водяной пар, непрерывно поступающий в атмосферу, создает наряду с углекислым газом так называемый "парниковый эффект", который состоит в том, что некоторые газы, в основном углекислый (значительно в меньшей степени метан, закись азота и другие газы), и пары воды, находясь в атмосфере, затрудняют отдачу тепла с поверхности Земли в окружающую среду и действуют как стекло или пленка в теплице.



це. Роль водяного пара в парниковом эффекте значительна, ибо эти пары перехватывают и поглощают инфракрасное (тепловое) излучение Земли, создавая как бы мощное покрывало планеты. Таким образом, связь гидросферы с атмосферой оказывает существенное влияние на изменение климата планеты, и в этих процессах важны тепловые свойства воды (определяющим здесь является аномальная удельная теплоемкость воды). Благодаря высокой удельной теплоемкости воды, на континентах нет резких перепадов температур зимой и летом. Вместе с тем, колебания теплозапасов в мировом океане, изменения интенсивных океанских течений и массы морских льдов неизбежно ведут к глобальным изменениям погоды. В этой связи изучение взаимодействия океана и атмосферы является одной из важнейших задач современной метеорологии и смежных с ней наук.

Круговорот воды, несмотря на постоянную зависимость от климатических условий, сам в значительной мере воздействует на формирование климатических условий на Земле.

Вода на планете находится в непрерывном движении и изменении своего состояния, постоянно происходит водообмен между различными составными частями гидросферы. Благодаря мировому круговороту, происходит неуклонное обновление запасов воды с различной скоростью. Так, воды мирового океана обновляются за 2 млн. лет, почвенная влага примерно за 1 год, вода в реках за 12 суток (т.е. 30 раз в год), а пары в атмосфере за 9 суток (т.е. 40 раз в год).

Круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу состоит из несметного количества частных круговоротов и "филтросистем", включая и биосферный фильтр. Пройдя циклы круговоротов и систем фильтров, вода в конечном счете снова оказывается в главном своем хранилище - Мировом океане. Огромную роль в процессе возобновления запасов воды играет сформировавшаяся в результате эволюции система очистки (природные фильтры), через которые воды гидросферы постоянно пропускаются с различной скоростью. Примером таких очистных природных массивов могут служить: земная кора, через которую проходит значительная часть воды гидросферы, обновляясь и



Инженерная экология

снова включаясь в природные воды; атмосфера, в которую вода поступает в парообразном состоянии и в новом качестве возвращается обратно в гидросферу в виде осадков; наконец, биосфера, пропускающая огромное количество воды через систему всех живых организмов Земли.

Биосфера нашей планеты включает в себя биосферу суши и океана, основную массу которых составляют фотосинтезирующие организмы. Водные растения непрерывно очищают воду, проходящую через их поверхность, а на суше растения транспирируют воду, т.е., получая ее из почвы, отдают в атмосферу в виде пара при испарении с крон (рис.2.4). Системой транспирации на суше являются леса, поверхность листвы которых специалисты оценивают следующим образом: на каждый квадратный метр поверхности почвы лес создает 5,7 м лиственной поверхности, зрелый еловый лес - 11 м, влажные тропические леса 22 м, саксауловый лес пустыни - 0,1 м, мхи и лишайники тундры - 2 м (при оценке следует также учесть, что почвенная влага от осадков проходит в основном через микроорганизмы и грибы, которые также очищают воду и значительно влияют на повышение интенсивности биосферной очистки). В океанской воде заросли водорослей всех видов и одноклеточные водоросли создают суммарную площадь поверхности очистки, равную 100 м² в слое толщиной 100 м, по современным оценкам морские организмы (с учетом мельчайших планктонных организмов) пропускают через себя в течение одного года объем воды, равный двум Мировым океанам.

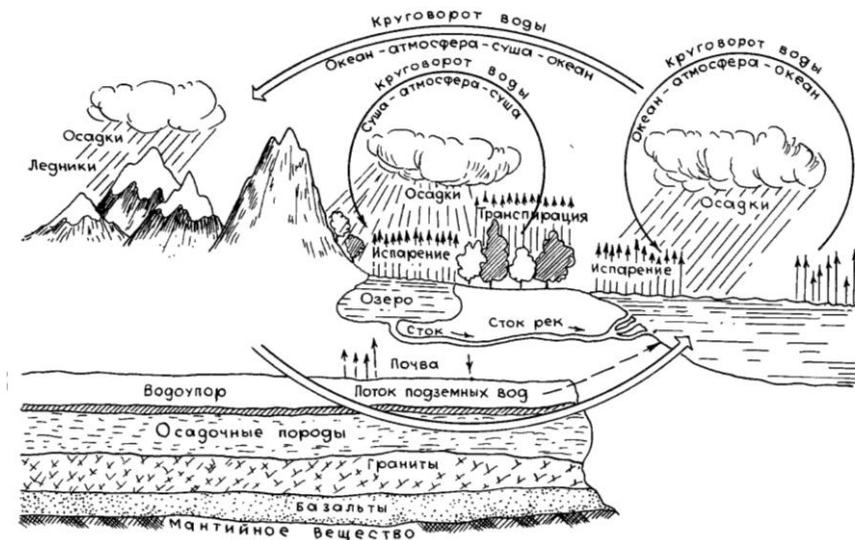


Рис.2.4. Схема круговорота воды

Круговорот воды, пронизывающий глобальный комплекс "суша - Мировой океан - атмосфера", представляет собой чрезвычайно сложную систему, в которую входят отдельные (составные) круговороты с природными очистными системами (см.рис.2.4). Непрерывный круговорот воды в природе весьма важен как процесс, обеспечивающий сушу пресной водой, от которой зависит жизнь и хозяйственная деятельность человека.

Пресными считают воды с минерализацией до 1 г/л, солоноватыми – до 1-3 г/л, солеными – до 3-36 г/л, рассолами - с минерализацией более 35 г/л. Основные запасы пресной воды сосредоточены в гигантских кладовых планеты: ледниках и различных снежно-ледниковых массивах, а также под землей - около 99,2% запасов пресной воды на Земле. В качестве главного источника пресной воды на протяжении длительного исторического периода человек использует речные воды, скорость возобновления которых около 12 дней.

Следующий крупный источник пресной воды - это подземные воды, использование которых по объему составляет не более 20% от количества воды, получаемой из рек, по причине,



связанной с тем, что извлечение подземных вод сложнее и дороже, чем забор поверхностной речной воды. Почти не используются пресные воды болот. Специалисты считают неверным представление о болотах как о "гнилой" воде, эта вода стерильна из-за довольно высокого содержания фенолов. Благодаря этому качеству в прошлом болотную воду брали в виде запаса питьевой воды на корабли.

2.3.3. Круговорот углерода

Сложная система круговорота воды в гидросфере создала глобальный планетарный механизм непрерывного перемещения веществ за счет эрозии от наивысших уровней ландшафтов к уровню моря и далее в океан и другие водоемы. В этом разнородном процессе круговорота воды участвуют не только горные породы и органические элементы, но и различные растворенные и газообразные вещества, в том числе и углерод в форме углекислого газа (CO_2).

Пожалуй, круговороты двуокиси углерода (CO_2) и воды представляют собой самые важные для человечества глобальные биогеохимические процессы циркуляции веществ. Сейчас во всех системах экологического мониторинга развитых стран создана сеть измерительных станций для определения существенных изменений в круговоротах CO_2 и N_2O , от которых во многом зависит будущее Земной цивилизации. Важнейшей задачей специалистов нашего времени является решение проблемы полного контроля всех основных путей движения воды и CO_2 в круговороте.

В процессе биохимического круговорота в доиндустриальный период в воде происходило поглощение CO_2 первичными живыми организмами (бактериями, цианобактериями, сине-зелеными водорослями), в которых благодаря солнечной энергии обеспечивалась реакция соединения углекислого газа и воды с выделением кислорода: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$.

За последние сто лет содержание CO_2 постоянно увеличивается за счет антропогенных загрязнений среды, связанных с



Инженерная экология

развитием сельского хозяйства, промышленности, интенсивного сжигания горючих ископаемых, сведения лесов и т.д. (рис.2.5 - новые антропогенные, связанные с деятельностью человека, поступления показаны штриховой линией).

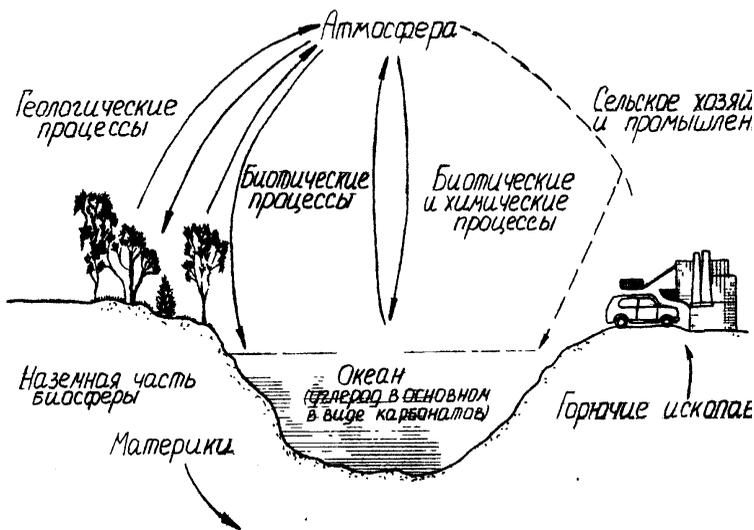


Рис.2.5. Круговорот двуокиси углерода (CO_2)

Постоянно возрастающее потребление горючих ископаемых, с одной стороны, и уменьшение поглотительной способности - с другой, ведет к постепенному возрастанию содержания CO_2 в атмосфере. Динамика увеличения содержания CO_2 свидетельствует о возможных изменениях климата Земли.

Примерно в 1800 г. в атмосфере планеты содержалось около 290 частей CO_2 на миллион (0,29%); после точных измерений, проведенных в 1958г, содержание CO_2 составило 315, а в 1980 - 335 частей на миллион. В случае увеличения вдвое содержания CO_2 по сравнению с доиндустриальным уровнем можно ожидать потепление климата Земли, температура в среднем повысится на 1,5-4,5 $^{\circ}\text{C}$, и это, наряду с подъемом уровня моря (в прошлом веке он поднялся примерно на 12 см) и изменением распределения осадков, может погубить сельское хозяйство.

В круговороте необходимых для сохранения жизни элементов и неорганических соединений CO_2 отличается летучестью и хорошей растворимостью. Благодаря этим качествам даже



небольшая концентрация углерода в атмосфере не лимитирует развитие жизни. Но есть лимитирующие жизнь элементы: фосфор, азот, калий - на суше, а в воде, дополнительно, и кремний. Поэтому круговорот воды в биогеохимическом цикле, содержащем важные для жизни элементы, лимитирует развитие жизни. В случае резкого снижения оборотов указанных элементов в воде (или замедление этого процесса) по тем или иным причинам наступает биологическая катастрофа, влекущая за собой гибель огромного количества живых организмов от фитопланктона до крупных морских рыб, животных и птиц.

Помимо CO_2 , в атмосфере присутствует еще два углеродных соединения: окись углерода CO - около 0,1 части на миллион и метан CH_4 - 1,6 части на миллион. Оба эти вещества, CO и CH_4 , образуются при неполном разложении органических веществ, а в атмосфере оба окисляются до CO_2 . Накопление смертельного яда CO_2 для человека в атмосфере городов с интенсивным автомобильным движением становится все более угрожающим. Опасная для здоровья человека концентрация CO_2 , до 100 частей на миллион, становится частой в районах с большим движением автотранспорта.

Невредно напомнить, что курильщик, потребляющий пачку сигарет в день, получает до 400 частей на миллион, вследствие чего содержание оксигемоглобина в его крови уменьшается на 3%, а это приводит к болезням, связанным с нехваткой кислорода: анемии и тяжелым заболеваниям сердечно-сосудистой системы.

Углекислый газ CO_2 обладает свойствами летучести и легкой растворимости, особенно в морской воде. Эти качества позволили CO_2 так же, как и воде, иметь свой круговорот непосредственно между атмосферой и гидросферой. В таком глобальном круговороте CO_2 атмосферная часть его незначительна в сравнении с количеством углерода, содержащегося в океанах, в ископаемом топливе и других хранилищах природы. По причине антропогенных выбросов (сжигание горючих ископаемых, поступление от сельского хозяйства и сведения лесов) в текущем столетии содержание CO_2 постоянно растет.



Существует много различных мнений о причинах обогащения атмосферы углекислым газом. Сюда входят процессы фиксации CO_2 сельскохозяйственными культурами, которые не возмещают количество высвобожденного углекислого газа, и сжигание горючих и другие явления антропогенного характера. Но с тем, что леса - важные накопители углерода, ибо в биомассе "зеленых легких" планеты содержится в 1,5 раза, а в гумусе в 4 раза больше углерода, согласны все. Полагают, что более 2 млрд. лет назад, когда на Земле появилась жизнь, в атмосфере было много CO_2 и очень мало O_2 . За геологическое время в атмосфере постепенно увеличилось содержание кислорода и уменьшилось количество CO_2 , чему способствовали геологические и химические процессы.

Вечная космическая "солнечная энергия" непрерывно и бесконечно перекачивает воду из Мирового океана. В этом удивительно отлаженном природой процессе - круговороте воды в гидросфере - активным участником становится жизнь. В свою очередь, жизнь в биосфере, используя воду океана и солнечную энергию, создала свой круговорот: Великий цикл, включающий в себя построение и развитие живого органического вещества, которое в дальнейшем будет разложено на простые составляющие, участвующие в вечном круговороте.

После того как живые существа погибают, грибы и микробы разлагают их на простые вещества, в частности воду и углекислый газ. Так осуществляется круговорот углерода, при котором за несколько лет (6-7 лет) весь углерод, содержащийся в атмосфере, транспортируется сквозь биосферу. Таким образом, такое глобальное свойство гидросферы, как ее круговорот, необходимо для получения в природе углерода и других важных для жизни элементов.

Фундаментальный характер взаимосвязи живого вещества с геологическими процессами в биосфере (в соответствии с теорией биологического единства) В.И.Вернадский выразил в следующей чрезвычайно важной мысли: Земная оболочка, биосфера, обнимающая весь Земной шар, имеет резко обособленные размеры, в значительной мере они обуславливаются существованием в



ней живого вещества - она им населена. Между ее косной "безжизненной" частью и живым веществом, ее населяющим, идет непрерывный материальный и энергетический обмен, материально выражающийся в движении атомов, вызванном живым веществом. Этот обмен в ходе времени выражается закономерно меняющимся, непрерывно стремящимся к устойчивости равновесием. Оно пронизывает всю биосферу, и этот биогенный ток атомов в значительной степени ее создает. Так неотделимо и неразрывно биосфера на всем протяжении геологического времени связана с живым, заселяющим ее веществом. В этом биогенном токе атомов и связанной с ним энергией проявляется планетарное, космическое значение живого вещества. Рассматривая единство биологических и геологических процессов, В.И.Вернадский ставит вопрос о путях появления живого вещества и дальнейшей эволюции планетарной среды в качестве атмосферы и литосферы.

Очевидно, что "живое вещество" в процессе эволюции "вжилось" в гидросферу, стало ее составляющей, активно участвующей в глобальном круговороте. Жидкая среда живого организма, в частности гидросфера человека, - одно из звеньев этой составляющей.

2.3.4. Круговорот азота

Атмосферный воздух на 78% состоящий из азота, представляет огромный объем планетарной системы, куда азот поступает благодаря денитрофицирующим бактериям и водорослям. Частично этому содействуют электрические разряды в атмосфере. Процессы, из которых складывается сложный круговорот азота - это ассимиляция, нитрификация, денитрификация, разложение, выщелачивание, вынос, выпадение с осадками и т.д. Организмы и большинство зеленых растений нуждаются в различных химических формах азота. Растениям требуется азот в форме нитрат-ионов (NO_3^-) и ионов аммония (NO_4^+). Животные удовлетворяют большую часть своих потребностей в азотных питательных веществах, поедая зеленые растения или травоядных животных. Газообразный азот (N_2) ни растениями, ни людьми, ни боль-



Инженерная экология

шинством других организмов непосредственно не может быть использован. В природных условиях газообразный азот преобразовывается в растворимые в воде соединения, содержащие нитрат-ионы и ионы аммония, которые усваиваются в процессе круговорота корнями растений. Неорганические нитрат-ионы и ионы аммония преобразуются растениями в белки, ДНК и другие органические соединения.

Круговорот азота в биосферных процессах показан на рис.2.6 в виде упрощенной диаграммы.

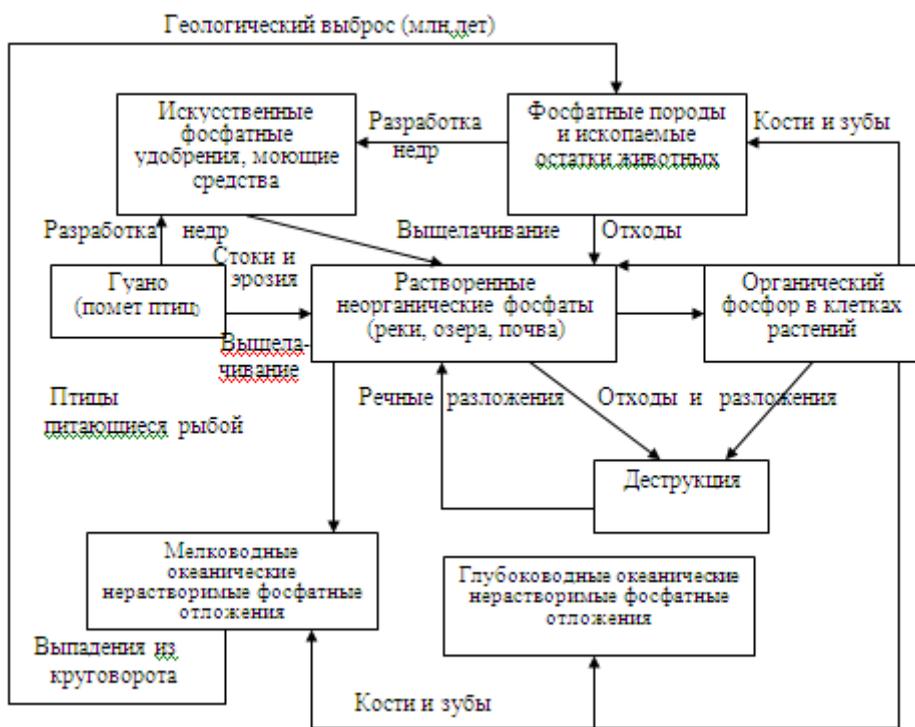


Рис.2.6. Упрощенная диаграмма круговорота азота



Преобразование атмосферного газообразного азота в различные химические соединения в растениях называется *фиксацией азота*. Выброс соединений азота (нитриты, нитраты) в атмосферу и промышленная фиксация азота, поступающая в пахотные земли в виде удобрений, непосредственно связаны с деятельностью человека. Количество таких азотных соединений настолько велико, что его сравнивают с количеством природной фиксации азота в атмосфере. Цикличность перемещения и виды микроорганизмов, участвующих в процессах обмена азотом между организмами и средой показаны на рис.2.7. В процессе круговорота азот протоплазмы переводится из органической в неорганическую форму благодаря деятельности различных бактерий - *редуцентов*. Часть азота переводится на определенном этапе круговорота в аммиак и нитрат - соединение, наиболее пригодное для жизнедеятельности растений.

рис.2.7. циркуляция азота в системе «организмы – окружающая среда»



В чем же состоит вмешательство человека в круговорот



азота?

1. Сжигание ископаемого топлива и древесины, сопровождающееся выбросом в атмосферу оксида азота (NO). Соединяясь с кислородом атмосферы, оксид азота образует NO₂ - диоксид, а при взаимодействии с водяным паром образуется азотная кислота (HNO₃), которая становится частью кислотных осадков, отравляющих жизнь растений и организмов.

2. Выделение в атмосферу "парникового" газа - закиси азота (N₂O) в результате действия бактерий на удобрения и отходы животноводства.

3. Сбросы нитратов и аммония в водоемы с животноводческих ферм, коммунально-бытовые стоки, что приводит к массовой гибели рыб.

4. Вынос из почвы нитратов и аммония при сборе урожая сельскохозяйственных культур, перенасыщенных азотом.

2.3.5. Круговорот фосфора

Фосфор встречается в значительно меньших химических формах, чем азот, поэтому круговорот фосфора, показанный на рис.2.8, по структуре проще циклов азота. Неотъемлемый элемент протоплазмы – фосфор - циркулирует, переходя из органических соединений в фосфаты, используемые растениями. В отличие от азота, сферой размещения для фосфора служит не атмосфера, а горные породы и другие отложения литосферы.



РИС.2.8. СХЕМА КРУГОВОРОТА ФОСФОРА

В своем круговороте фосфор постепенно перемещается из фосфатных месторождений на суше и мелководных осадков к живым организмам и обратно. Животные обогащают свой организм необходимым фосфором, поедая растения или животных. Большая часть фосфора возвращается в виде отходов или продуктов разложения в почву, в реки, на дно океана в качестве осадочных пород. С поверхности суши в океан смывается большое количество фосфатов в результате антропогенной деятельности. Часть фосфора возвращается на сушу в виде гуано (помета птиц), обогащенного фосфором экскрементов питающихся рыбой птиц. Важную роль играют и многолетние геологические процессы. Из диаграммы на рис.2.9 видим, что в данном случае бактерии играют меньшую роль, чем в рассмотренном ранее круговороте азота. Фосфор входит в состав молекул, в том числе ДНК, молекул жиров, а также в состав костей и зубов животных.

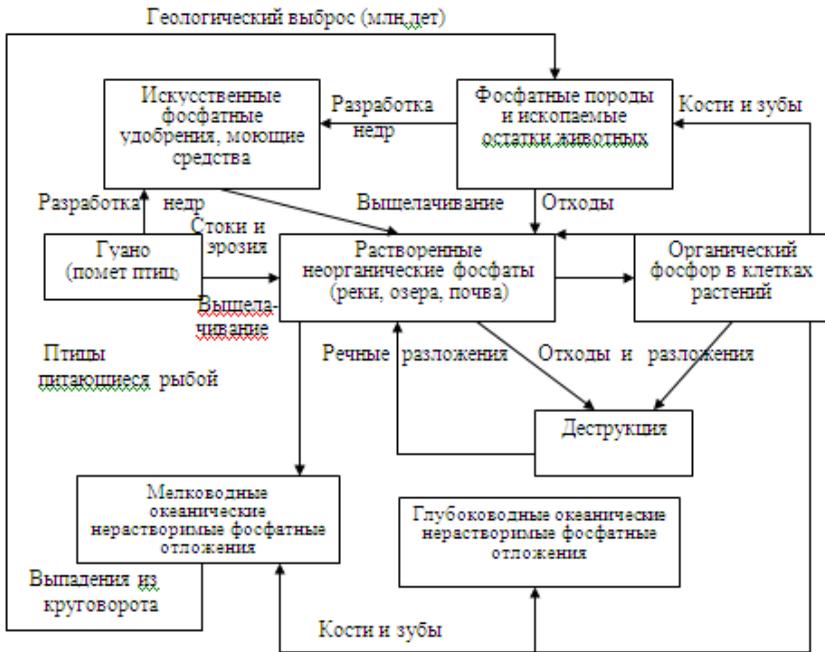


Рис.2.9. Упрощенная диаграмма круговорота фосфора (по Т.Миллеру, 1993г.)

2.4. Экология человека

Систему, состоящую из определенной группы живых существ и среды, в которой эта группа обитает, часто называют *экосистема*.

Экосистема - одно из основных биологических понятий, характеризующих реально существующее сообщество, которое удовлетворяет свои нужды в динамической взаимосвязи со средой. Под *экологией человека* понимают экологию всей экосистемы в целом, рассматриваемой с позиции роли в ней "человеческой компоненты". Вид *Homo sapiens* представляет собой глобальную систему популяций, существующих в самых разнообразных условиях нашей планеты.



Инженерная экология

Экология человека изучает процессы и закономерности возникновения и развития антропоэкологических систем, удовлетворяющих на этой основе свои потребности. *Антропоэкологические системы* это сообщество людей, состоящих в динамической взаимосвязи с окружающей средой - непрерывном обмене веществами и энергией. Для успешного существования в определенных условиях необходимы приспособления к среде обитания. Эти приспособления называются адаптациями и присущи не только человеку, каждому в отдельности, но и группе или сообществу людей.

Адаптация (от лат. adaptation - приспособляю) - одно из уникальных свойств живого: приспособление организмов к условиям среды. Способность к адаптации, к саморазвитию, совершенствованию в широко изменяющихся условиях окружающей среды при постоянном воздействии многообразных возмущающих факторов является существенным отличием всего живого от самых гениальных инженерных творений человека.

Среда - это совокупность окружающих условий, в которых обитает сообщество. В нее входят биотические и абиотические компоненты, в том числе растительный и животный мир, климат, особенности рельефа, средства сообщения и т.д. Приспособляемость к среде - процесс двусторонний: с одной стороны, это изменение физиологических и социальных функций, с помощью которых удовлетворяются требования среды, с другой - сама среда, ее биотические и абиотические составляющие, которые изменяются, чтобы удовлетворить требования организма. Среда обладает свойством пластичности и постоянно претерпевает определенные изменения. Например, естественная среда после расселения человеческих групп заменялась искусственным окружением, состоящим из жилищ, технических средств, парков и садов, сельскохозяйственных угодий, животноводческих и птицеводческих ферм, городских многосложных сооружений.

Приспособляемость - замечательное свойство всех представителей вида *Homo sapiens*, обладающих способностью проявлять необходимую гибкость своих функций в ответ на изменение условий внешней среды. Это свойство адаптивной системы,



которая может приспособляться к изменениям внутренних и внешних условий.

Значение и задача адаптации состоят в сохранении биологического гомеостаза, представляющего, по определению Кеннона, "совокупность устойчивых состояний, поддерживаемых в организме".

Гомеостаз (от греч "гомеос" - равный и "стазис" - состояние) - поддержание постоянства существенных переменных организма (температуры, давления крови, ее состава и т.д.) для обеспечения оптимального режима внутренней среды. Понятие гомеостаза было развито физиологами К. Бернардом и В. Кенноном. Гомеостаз образуется двумя взаимосвязанными процессами - достижением устойчивого равновесия и саморегулированием. Процессы саморегулирования направлены на ликвидацию последствий возмущений в тех или иных системах организма. Это связано со стремлением организма сохранить основные переменные в физиологических пределах, например, сохранить постоянство внутриклеточных условий, которое необходимо для жизни организма. Устойчивое гомеостатическое состояние организма человека характеризуется определенным пределом изменения температуры человеческого тела, рН крови, уровня сахара, осмотического давления и других показателей. Таким образом, организм приспосабливается к изменениям окружающей среды. Естественно, эта приспособляемость имеет определенные границы, за пределами которых начинаются функциональные отклонения болезни.

В настоящее время на планете среда, в которой мы живем, представляет собой сложное сплетение и взаимопроникновение природных и антропогенных факторов. Этим определяется необходимость введения единого интегрального критерия качества среды с позиции ее пригодности для обитания человека. Таким критерием согласно Уставу ВОЗ (Всемирной организации здоровья), принятому в 1968 г., служит состояние здоровья населения. При изучении экологии человека термин "здоровье" характеризует показатель полного физического и душевного благополучия. Но состояние здоровья непосредственно связано со средой нашего обитания, это прежде всего, воздух, вода, почва, раститель-



ный и животный мир, участвующий в глобальном обмене веществ.

Рассмотрим уже упомянутые антропоэкологические системы, в которых происходит обмен веществами и энергией, связанный с **экологией питания**.

Из пищи человек получает энергию, которая необходима ему для поддержания обмена веществ, состояния покоя, для нормальной деятельности мышц, для роста и размножения, нормальной температуры тела. Расход энергии, необходимой для удовлетворения этих биологических нужд, достаточно точно известен. Организм взрослого человека в состоянии "покоя" или сна расходует около 300 кДж/ч. В зависимости от характера нагрузки эквивалент работы в джоулях может изменяться примерно от 450 кДж/ч (при легкой работе без особых физических усилий) до 1600-2000кДж/ч при тяжелой работе. Исходя из этого, берется два средних уровня для энергетической характеристики легкой и тяжелой работы, а именно 5000 кДж и 8400 кДж за рабочий день (Дж. Харрисон и др., Биология человека, 1979).

Источники пищи и энергии для человека очень разнообразны. Широкий "ассортимент" источников питания, используемых человеком, обусловлен, прежде всего, способностью организма усваивать и перерабатывать три источника энергии - жиры, белки и углеводы, извлекая их из огромного количества пищевых продуктов. Общее свойство людей любой расы проявляется в высокой приспособляемости к окружающей среде. Человек, по видимому, в отличие от других живых организмов, легко переносит (не столько психологически, сколько физически) значительные изменения в характере питания.

Пищевые вещества: жиры, белки и углеводы, будучи источниками энергии, выполняют важную функцию в процессах обмена веществ. Жиры, будучи формой хранения энергии в организме, обеспечивают теплоизоляцию тела. Белки содержат аминокислоты, необходимые для роста тканей и их восстановления, а также для синтеза белков, выполняющих в организме различные жизненно важные функции. Углеводы принимают участие практически во всех процессах превращения энергии.

Метаболизм (гр. meta- bole - перемена) - обмен



ществ в организме, совокупность процессов, составляющих анаболизм и катаболизм (процессов, направленных соответственно на образование сложных органических веществ и их распад). Все организмы осуществляют постоянный метаболизм с окружающей средой. Этот обмен веществ выражается в поглощении жидких и твердых материалов (питание), газообмене (дыхание), перемещении соединений (циркуляция), их химическом преобразовании (промежуточный метаболизм), выделении из организма (экскреция).

Для обеспечения обмена веществ организмам необходимо примерно четверть существующих на нашей планете химических элементов. Доминирующее место занимают кислород и водород, которые составляют 88% всех атомов человеческого тела. Широкое распространение получили 2 группы элементов: входящие в состав биохимических соединений (C, N, H, O, P, S) и поддерживающие электролитический баланс тканей (Na, K, Ca, Cl, B) химический состав организмов входят также малые количества других элементов, прежде всего элементов металлов. Вместе с тем, в организм человека постоянно поступают посторонние химические соединения, представляющие опасность для жизнедеятельности организма. Такие вещества поступают в организм прежде всего с продуктами питания.

Пища, съедаемая нами, питает организм энергией и важными веществами, необходимыми для обеспечения нормальных жизненных процессов. Если в организм с пищей попадают токсичные, опасные вещества, то биологический механизм пытается их обезвредить и выбросить. Но ряд веществ организм может вывести только частично, а некоторые не может вывести совсем. После приема внутрь происходит постепенная аккумуляция, т.е. накопление вредных загрязнений, которые со временем достигают опасных для здоровья человека концентраций. Таким образом, вредное действие на организм зависит от дозы загрязнения пищи вредными веществами.

"Все - яд, и только доза делает вещество не ядовитым". Эти слова основателя современной фармакологии, врача, естествоиспытателя и философа Парацельса (1493-1541) свидетельст-



Инженерная экология

вуют о том, что уже в средние века было известно, что любые вещества, принятые внутрь в большой дозе, могут повредить организму.

Какой же должна быть доза, не угрожающая здоровью, и как ее устанавливают?

В опытах на разных животных определяются дозы, опасные для них при продолжительном приеме внутрь испытуемых веществ. Учитывая, что человек в большинстве случаев чувствительнее к вредным веществам, чем животные, для большей надежности результаты, полученные при опытах, делят на сто. Полученное значение дозы, которую человек может без вредных остаточных явлений принимать ежедневно, принято называть *предельно допустимой суточной дозой*. Единица измерения этой дозы выражается в миллиграммах на килограмм веса человека.

К числу опасных загрязнений, ненамеренно попадающих в пищевые продукты, относятся микроорганизмы, тяжелые металлы и химические вещества, выбрасываемые промышленными и другими предприятиями, и т.д.

Микроорганизмы могут появляться и жить в потребляемых человеком продуктах, образуя свои токсины, отравляющие любой живой организм. Прекрасной средой для попадания микроорганизмов в пищу являются, например, богатые белком молочные и мясные продукты, если они не защищены от болезнетворных микробов (стерилизация, холодное хранение и другие меры). В продуктах, покрывающихся плесенью, могут содержаться афлотоксины - ядовитые вещества, которые незаметно распространяются по всему продукту (например, по хлебу, колбасе, сыру), и удаление заплесневевшей части путем срезания не защитит от отравления. Серьезную опасность представляют остатки средств защиты растений в пищевых продуктах. Болезни человека и животных, связанные с попаданием пестицидов в организм, часто обусловлены неправильным и бесконтрольным их применением, некоторые из них представляют опасность для здоровья живых организмов даже в незначительных дозах. Так, по результатам исследования ДДТ, в 60-х годах это опасное вещество, обладающее свойством кумуляции в организме, было изъято из употребления во всех ци-



вильзованных странах.

Наша пища нередко содержит и остатки удобрений. Когда в почву вносится удобрение в слишком большом количестве, в растениях может накапливаться азотистое соединение - нитрат. Это приводит к загрязнению растительной пищи, например, овощей - нитратами, которые могут быть превращены бактериями в опасные для здоровья нитриты.

Опасные свойства химикатов, выбрасываемых в природу или попавших в сельскохозяйственный оборот, распознаются зачастую лишь после их длительного использования. Можно предположить, что в недалеком будущем, наряду с известными сейчас вредными загрязнителями, будут выявлены новые, не менее опасные.

Последствия попадания в окружающую среду загрязняющих веществ разнообразны, среди которых на первом месте поражение нервной системы, воздействие на наследственное вещество, вызывающее уродство и высокую смертность новорожденных, онкологические заболевания. По данным Европейского бюро окружающей среды (Брюссель), ежегодно в мире от рака умирает 5 млн. чел. Основным фактором, вызывающим эти заболевания, считается воздействие загрязняющих веществ, содержащихся в воде, воздухе, почве, пище. Согласно некоторым американским исследованиям, до 90% всех раковых заболеваний происходит по этой причине. Перечень канцерогенных веществ постоянно растет в основном по причине синтеза все новых и новых химических соединений. Поэтому цивилизованные страны издают периодически официальные предписания по защите от канцерогенных веществ. Например, в Германии установлены три группы канцерогенных веществ. Немецкий ученый Г.Хефлинг считает, что люди, их использующие, должны быть предупреждены о грозящей опасности. Каждое предприятие, где применяют эти вещества, должно проверить, нельзя ли их заменить другими, безвредными. Если такая замена возможна, использование канцерогенного вещества должно быть запрещено. Предписаны подробные правила упаковки и маркировки всех опасных веществ.

Особо вредные загрязнители, такие, как тяжелые



Инженерная экология

таллы (свинец, кадмий, ртуть), неорганические газы (диоксид серы, угарный газ, окислы азота, озон), нитросоединения и хлорированные углеводороды (ДДТ, хлористый винил), организм человека может получить из окружающей среды через кожу, с дыханием, с пищей. Когда опасные загрязнители встречаются в комбинации с другими веществами, то характер действий их на организм может быть непредсказуем. Иногда совершенно не ядовитые вещества, реагируя между собой, образуют опасный яд. Эти превращения могут происходить не только в окружающей среде, но и в самом организме, оказывая свое вредное действие.



ГЛАВА 3. ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

*Природу побеждают только
повинуясь ее законам.
Ф. Бэкон*

3.1. "Закон минимума" Ю. Либиха

Каждая особь, популяция, сообщество испытывают одновременно воздействие различных факторов, но лишь часть из них являются жизненно важными. Такие жизненно важные факторы называются *лимитирующими*. Чаще всего хотя бы один фактор лежит вне оптимума. И от этого фактора зависит возможность существования вида в данном месте. Еще в 1840 году Ю. Либих установил, что выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Ему принадлежит приоритет изучения различных факторов на рост растений и выявление того, что урожай растений можно эффективнее всего повысить, улучшив минимальный фактор (обычно - увеличив количество N и P), а не те элементы питания, которые требуются в больших количествах, такие, как, например, двуокись углерода или вода. Вещества, которые требуются в ничтожнейших количествах, но которых очень мало и в почве, например цинк, эти вещества и становятся лимитирующими. Концепция Либиха о том, что "рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве" стала известна как "*закон минимума*" Либиха.

Для успешного применения на практике концепции Либиха к ней необходимо добавить два вспомогательных принципа: первый - ограничительный ("закон Либиха строго применим только в условиях стационарного состояния, т.е. когда приток и отток энергии и вещества сбалансирован"); второй - принцип взаимодействия факторов, который утверждает, что "высокая концен-



трация или доступность одного вещества или действие другого (не минимального) фактора могут изменять скорость потребления элемента питания, содержащегося в минимальном количестве".

Для инженера-эколога концепция лимитирующих факторов ценна тем, что она дает отправную позицию при исследовании сложных ситуаций в системе "человек – техника - природа". Взаимоотношения элементов такой системы могут быть весьма сложными. В процессе решения задач новой техники и технологии специалист может выделить вероятные слабые стороны и заострить внимание, хотя бы в начале, на тех характеристиках среды, которые могут оказаться критическими или лимитирующими.

Пределы толерантности. ***Наряду с выводом о том, что "рост растений зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве", ставшим основой либиховского "закона минимума", Ю. Либих указывал на диапазон лимитирующих показателей. Было выяснено, что лимитирующим фактором может быть не только недостаток, но и избыток таких факторов, как свет, тепло и вода. Понятие о лимитирующем влиянии экологического максимума наравне с минимумом ввел В. Шелфорд (1913 г.), сформулировавший "закон толерантности". Диапазон между двумя величинами, экологическим минимумом и экологическим максимумом, которым характеризуются так или иначе все живые организмы было принято называть пределом толерантности (от лат. *toleratia* - терпение, терпимость). Если определенный организм обладает небольшим диапазоном толерантности к одному из изменчивых факторов, то этот фактор заслуживает пристального внимания, ибо он может оказаться лимитирующим. Например, кислород, вполне доступный для организмов, обитающих в наземных частях экосистем, редко может оказаться лимитирующим. Тогда как для организмов, обитающих под водой, кислород может стать важным лимитирующим фактором. В случае экстремального сужения диапазона толерантности живой организм может всю метаболическую энергию за- тратить на преодоление***



стресса, связанного с уменьшением пределов рующего фактора, а из-за неадаптации энергии на ную жизнедеятельность - погибнуть. Если белый медведь в силу каких-либо обстоятельств будет перемещен в теплые края, то ему придется тратить всю метаболическую энергию на преодоление теплового стресса, и животному не хватит энергии на добывание пищи и сохранение своего вида в природе.

Концепция лимитирующих факторов в общем случае широко распространяется как на биологические, так и на физические факторы, и на изложение всего, что известно по этому вопросу, потребовался бы печатный труд большого объема, что не входит в задачу данной книги. Однако, учитывая, что инженеру-экологу приходится чаще иметь дело с физическими факторами, кратко перечислим основные физические и климатические факторы.

3.2. Температура

В климатических пространствах Вселенной температура колеблется в диапазонах тысяч градусов. По современным данным, жизнь в условиях Земли может существовать примерно в пределах 300⁰С (от – 200 до + 100⁰С). Реально подавляющее большинство видов организмов может жить и размножаться при узком диапазоне температур. При этом температурные ритмы входят в круг важнейших планетарных ритмов вместе со световыми, приливно-отливными и ритмами изменения влажности, которые контролируют активность жизнедеятельности растений и животных в течение времен года и суток. Вместе с тем, температура - одна из важных характеристик, входящих в мониторинг природной среды (см. также гл.8, разд.8.4), осуществляющих наблюдение, контроль, прогноз и управление.

Мониторинг температуры выполняется достаточно точными приборами с электронными датчиками, такими, как платиновые термометры сопротивления, термопары и термисторы, предоставляющие возможность измерять температуру в труднодо-



тупных условиях и осуществлять непрерывную (если это необходимо) регистрацию измерений. Этими же приборами легко выполнить измерения характеристик различных объектов, отличающихся устойчивостью температур.

В экологических исследованиях изменчивость температуры является очень важным показателем. Дело в том, что температура, колеблющаяся в пределах 10-30°C (при средней 20°C), действует на организмы и растения обычно не так, как постоянная температура 20°C. Организмы в природных условиях подвергаются воздействию переменных температур. И, как показывает практика, жизнедеятельность организмов угнетается, замедляется, а иногда и подавляется при воздействии постоянной температуры. Экстремальные исследования экологов и зоологов свидетельствуют о более быстром развитии организмов при переменной температуре по сравнению с тем, что происходит в постоянной температурной среде (примеры: яйца, личинки и куколки яблонной плодовой гнили в колеблющейся температурной среде развиваются на 7-8% быстрее, чем при постоянной температуре; при переменной температуре развитие яиц кузнечика происходит быстрее на 38,6%, а нимф - на 12% по сравнению с развитием в условиях постоянной температуры).

Пока нет достоверных сведений, обусловлен ли этот ускоряющий эффект самим колебанием температуры или усиленным ростом, который вызывается временным повышением температуры и не компенсируется замедлением роста при ее понижении. Стимулирующий эффект переменных температур, по крайней мере в умеренной зоне, можно считать четко установленным, и это необходимо подчеркнуть, поскольку лабораторные эксперименты проводятся обычно при постоянной температуре. Вместе с этим, начинающему экологу рекомендуется при изучении той или иной проблемы или конкретного организма учитывать температуру, но не ограничиваться только этим.



3.3. Излучение

Жизнь на Земле обязана главным образом солнечному лучу. Излучение Солнца в огромном спектре - от коротких волн (невидимых ультрафиолетовых) до длинных (красных, включая все электронные и ионные потоки), - является главным возбудителем жизнедеятельности на нашей планете. Между тем, прямое воздействие света от тех же солнечных излучений на живую клетку смертельно для организма. Таким образом, солнечный свет - это не только главный возбудитель жизни на Земле, но и лимитирующий фактор как на максимальном, так и на минимальном уровнях.

Солнечное излучение, достигающее поверхности Земли, состоит из электромагнитных волн длиной от 0,3 до 10 мкм, что соответствует 300-10 000 нм, или 3000-100000 Å ⁰ *.

Человеческий глаз воспринимает спектр света в диапазоне волн 3900-7600 Å ⁰ или 390-760 нм.

Экологу важно знать качественные признаки света (длина волны, цвет), интенсивность (энергия в калориях) и продолжительность воздействия (длина дня).

Ионизирующие излучения. Главнейшими источниками энергии, питающими жизнедеятельность биосферы, являются как солнечные излучения, так и космические. Корпускулярные, радиоактивные потоки, космическая пыль, газовые молекулы являются чрезвычайно важными вершителями судеб земной жизни. Живые организмы, развиваясь под непрерывными потоками космической радиации, обрели способность использовать ее для своего развития и применять защитные механизмы, которые оградили бы живую клетку от влияния опасных для нее космических сил. Полагают, что ионизация - одна из основных причин радиа-

* Микрометр (мкм) - одна тысячная миллиметра (10^{-3} мм); нанометр - одна миллионная миллиметра (10^{-6} мм); ангстрем (Å ⁰) - одна десятая нанометра (10^{-7} мм).



Инженерная экология

ционного угнетения цитоплазмы. Источником ионизирующего излучения служат радиоактивные вещества, содержащиеся в горных породах, а также они поступают из космоса. Изотопы, испускающие радиоактивные излучения, называются *радиоактивными изотопами* или *радионуклидами*.

Важное экологическое значение имеют три вида ионизирующих излучений. Два из них представляют собой корпускулярное излучение (альфа- и бета-частицы), а третье - электромагнитное (гамма-излучение и близкое ему рентгеновское излучение).

Альфа-излучения представляют собой ядра атомов гелия большого (по сравнению с другими частицами) размера, а длина их пробега в воздухе составляет несколько сантиметров. Бета-излучение - быстрые электроны с меньшими размерами и длиной пробега в воздухе до нескольких метров, а в ткани - нескольких сантиметров. Гамма-излучение легко проникает в живые ткани организма и может пройти сквозь него, не оказав воздействия или вызывая ионизацию на большом отрезке пути.

Ионизирующее электромагнитное излучение сходно со световым, только длина волны у него значительно короче.

При радиационных исследованиях следует знать: 1) число распадов, происходящих в определенном количестве радиоактивного вещества; 2) дозу излучения по количеству поглощенной энергии, способной вызвать ионизацию и повреждения. В первом случае основной единицей измерения активности принят в системе СИ беккерель (Бк), а внесистемной единицей является кюри (Ки) - это количество радиоактивного материала, в котором каждую секунду происходит распад $3,7 \cdot 10^{10}$ атомов ($2,2 \cdot 10^{12}$ расп мин⁻¹).

Учитывая, что активность 1 Ки довольно высокая, на практике пользуются: милликюри (мКи) = 10^{-3} Ки; микрокюри (мкКи) = 10^{-6} Ки; нанокюри (нКи) = 10^{-9} Ки (старое название миллимикрокюри: ммкКи).

Второй показатель - доза - измеряется в разных шкалах. В Международной системе единиц поглощенная доза излучения измеряется в джоулях на килограмм (1 рад = 0,01 Дж/кг). Во всех случаях излучения наиболее удобной считается *рад* - такая



доза излучения, при которой на 1 г ткани поглощается 100 эрг энергии. Старшая "по возрасту" единица дозы - *рентген* (Р) - пользуется только для гамма- и рентгеновского излучений. Однако когда рассматриваются случаи воздействия на живые организмы, рад и рентген используются почти как одно и то же. Для учета уровней излучения в окружающей среде удобно оперировать единицей в 10^3 меньше: миллирентген (мР) или миллирад (мрад). Чрезвычайно важно, за какой промежуток времени организм получает ту или иную дозу, например, если организм получил 10 мР в час, то суммарная доза за сутки (24 часа) составит 240 мР или 0,240 Р. В разделе 6.3 настоящего пособия единицы измерения рассмотрены подробно.

Организм человека особо чувствителен к ионизирующим излучениям. Ионизирующее электромагнитное излучение, как отмечалось выше, сходно со световым, но длина волны у него гораздо короче! Рентгеновское излучение представляет собой электромагнитное излучение, очень близкое гамма-излучению, однако оно не испускается радиоактивными веществами, рассеянными в окружающей среде. Космическое и ионизирующее излучения, испускаемые природными и радиоактивными веществами, имеющимися в воде и почве, образуют *фоновые излучения*. К этому виду излучения адаптирована ныне существующая биота. Биота (гр. *biote* – жизнь) – исторически сложившаяся совокупность растений и животных, объединенных общей областью распространения.

В настоящее время в связи с бурным развитием техносферы ионизирующие излучения представляют серьезную опасность для жизни на Земле. Рассмотрев излучения как лимитирующий фактор, мы вновь вернемся к этой теме при рассмотрении загрязнения окружающей среды и повторим ряд положений в несколько ином ракурсе для лучшего усвоения материала.

3.4. Почва как лимитирующий фактор

Почва - поверхностный слой земной коры, образовавшийся в условиях длительной эволюции взаимодействия атмосферы,



Инженерная экология

гидросферы и литосферы. В ее рыхлой среде непрерывно совершаются синтез и разрушение органических веществ, круговороты элементов, представляющих собой лимитирующий экологический фактор.

Почва состоит из исходного материала, содержащего минеральный субстрат и органические элементы, в которых организмы и продукты их жизнедеятельности находятся в измельченном перемешанном состоянии. В образовании почвы особенно важна роль разнообразных живых организмов, способствующих развитию космического свойства почвы - плодородия. Это замечательное свойство почвы поддерживается благодаря закономерной миграции зольных химических элементов в системе "почва - растения - почва", названная *биологическим*, или *малым, круговоротом*. С *геологическим*, или *большим, круговоротом* связан процесс растворения и выноса питательных элементов из почвы в экосистемы гидросферы реки, озера, моря и океана, где они оседают в виде пластов различного рода пород. Таким образом, почва, постоянно взаимодействуя с другими элементами природы, занимает важное место в общем круговороте веществ. Почвы вместе с организмами (животные, растения, микробы) образуют *биогеоценозы*, сложные экологические системы, обеспечивающие само существование жизни. Важнейшие функции биогеоценозов заключаются в непрерывно происходящем процессе биогенного накопления, трансформации и перераспределения поступающей на Землю солнечной энергии, а также в поддержании на планете Земля круговорота химических элементов, особенно таких биофилов, как кислород, водород, углерод, азот, фосфор, сера, кальций, медь, цинк, кобальт, йод и другие.

Если рассмотреть разрез почвы (рис.3.1), например, стенку глубокой траншеи или крутой обрыв речного берега, то легко различить хорошо выраженные слои разного цвета - так называемые почвенные горизонты, образующие почвенный профиль.



Верхний *горизонт "А"*, гумусовый, состоит из мелкодисперсного органического материала, образовавшегося в процессе гумификации из отмерших растений и животных. (Гумусовые вещества - устойчивые конечные продукты разложения, которые представляют собой обязательный компонент всех экосистем).

Второй крупный *горизонт "В"* состоит из минеральной почвы, хорошо перемешанной с измельченной материнской породой.

Третий *горизонт "С"* - это в основном неизменная материнская порода, представляющая собой коренную породу, распадающуюся на обломки (или перенесенную водой, ледниками, ветром). Это основные составные части почвы. В разделе "Почва и ее загрязнение" мы рассмотрим более широкий спектр почвенных горизонтов.

Эрозия почвы (от лат. *erosia* - разъединение) - многообразные процессы разрушения и сноса почвенного покрова или почвообразующих пород.

Различают эрозии почвы: ветровую, или дефляцию, водную, техническую и ирригационную (разновидность водной). Иногда ветровую эрозию называют золовой (Эол - греческий бог ветров).

Наиболее распространенной и наносящей особый ущерб фундам почв является *водная эрозия*, которая возникает в основном на наклонных плоскостях, подверженных разрушению почв при смыве ее талыми, дождевыми и ливневыми водами. *Ирригационная эрозия* развивается в результате нарушения правил полива на земельных участках, требуемых орошения. Под ветровой эрозией, или дефляцией, понимают развеивание верхних горизонтов почвы в периоды сильных ветров. При этом почва теряет



Рис.3.1. Вертикальный разрез почвенной толщи (профиль почвы)



мелкие частицы, с которыми выносятся химические вещества, имеющие большое значение для плодородия.

Разрушение почвы под воздействием транспорта, сельскохозяйственных машин и землеройной техники получило название *технической эрозии*. Урожаи сокращаются и делаются хуже по качеству из-за уплотнения почвы, вызываемого интенсивной эксплуатацией на полях все более мощной и тяжелой сельскохозяйственной техники: тракторов, хлебоуборочных, овощеуборочных и других комбайнов.

Кроме того, почти половина всех орошаемых земель мира в той или иной степени страдает от *засоления почв* (накопления соли) или *ощелачивания* (накопления щелочей), рис.3.2. В нормальных условиях почва содержит различные соли, в том числе угольной кислоты: углекислый натрий (Na_2CO_3), углекислый магний (MgCO_3), углекислый кальций (CaCO_3 , Na_2SO_4) и другие. Некоторые из них, особенно натриевые соли, значительно ухудшают плодородие почвы. Основной причиной засоления почв в естественных условиях являются грунтовые воды, насыщенные солями. Если грунтовые воды находятся на небольшой глубине, они в жаркие дни поднимаются по почвенным капиллярам и испаряются, оставляя на поверхности почвы все растворенные до этого в воде соли.



Инженерная экология

Транспирация

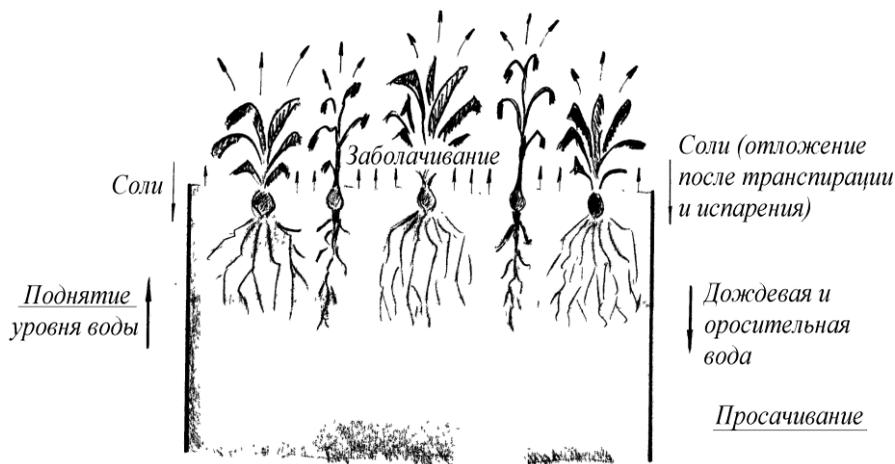


Рис.3.2. Засоленные и заболоченные почвы

Для устранения причин, вызывающих эрозию, необходим комплекс мероприятий, требующих научного, инженерно-экологического и экономического обоснования для каждого конкретного района страны. Экологи считают, что, в конечном счете, судьба почвенной экосистемы зависит от готовности общества отказаться от "сиюминутных" выгод ради создания гармоничных агросистем, ведущих к выгодам долгосрочным.

3.5. Вода как лимитирующий фактор

Вода, ставшая неотъемлемым спутником жизнедеятельности любого организма как физиологически необходимый компонент, с экологической точки зрения служит лимитирующим фактором как на суше, так и в воде. На первый взгляд, вода представляется как широко распространенное вещество, весьма простое по составу: два атома водорода соединены с одним атомом кислорода. И это, казалось бы, несложное соединение H_2O вряд ли таит в себе что-либо необыкновенно новое, а тем более загадочное. Но это, оказывается, далеко не так. В результате накопленных знаний и информации, получаемой в постоянном общении



Инженерная экология

человека с водой, проявляются удивительные, а подчас и совершенно необъяснимые свойства воды. Хорошо известны дискуссии о свойствах свежеталой воды или опыты с водой, расположенной в магнитном поле.

Обыкновенная вода, представленная формулой H_2O , состоит из соединения изотопов кислорода и водорода. Эти простые, но своеобразные элементы, как известно, широко распространены на нашей планете и в космосе. Водород имеет простое строение: один протон и один электрон. Атом водорода, соединившись с атомом кислорода, обретает дополнительную возможность притяжения, т.е. создания так называемых водородных связей. Кислород является одним из наиболее активных элементов в природе. Его первая оболочка содержит два электрона, а вторая всего шесть вместо восьми (т.е. для устойчивости кислороду нужно еще два протона). Кислород, взаимодействуя с другими атомами, отдающими электроны, проявляет на редкость активный характер. По системе химических элементов, созданной Д.И. Менделеевым (1834-1907), аналогом кислорода является ряд: сера (S), селен (Se), теллур (Te). Соединения этих элементов с водородом (H_2S , H_2Se , H_2Te) называются гидратами, однако свойства воды резко отличаются от характеристик названных элементов того же ряда, температура кипения и замерзания, например, для трех приведенных гидратов прямо пропорциональна их молекулярным весам, вода же не подчиняется этой закономерности.

При изучении воды как лимитирующего фактора особый интерес представляют свойства воды и ее качественные характеристики. К основным параметрам, по которым оценивается вода, прежде всего относятся: влажность, теплота парообразования, удельная теплоемкость, температура замерзания, количество осадков, запас поверхностных вод и содержание кислорода в водах водоемов.

Влажность характеризуется содержанием водяного пара в воздухе. Максимальная влажность (точка росы) - это параметр, характеризующий максимальное количество влаги, которое может находиться в воздухе при определенной температуре. *Абсолютная*



Инженерная экология

Влажность - количество водяного пара, содержащегося в воздухе и выраженное через массу воды на единицу массы воздуха, или это фактическое количество влаги, находящейся в воздухе при определенной температуре (например, в граммах на килограмм воздуха). Количество пара, удерживаемое воздухом при насыщении, зависит от температуры и давления, поэтому введено понятие относительной влажности. *Относительная влажность* характеризуется отношением в процентах абсолютной влажности и давления.*

В природе существует суточный ритм влажности, который вместе со светом и температурой играет существенную роль в регулировании активности жизнедеятельности организма. Взаимодействие двух важных компонентов микроклимата - температуры и влажности (как и других факторов) - зависит как от относительной, так и от абсолютной их величины.

В природе встречается водород (кроме обычного) с массой 2-дейтерий (D) и с массой 3-дейтерий (T); кислород помимо обычного с атомным весом 16, встречается в виде изотопов с атомными весами 17 и 18. Разница в изотопном составе сказывается на физических свойствах воды.

Температура, к примеру, оказывает на организмы более лимитирующее влияние, если условия влажности близки к критическим, т.е. влажность имеет экстремальные значения (очень велика или очень мала). С другой стороны, влажность играет критическую роль, если температура близка к предельным значениям.

* Относительную влажность обычно измеряют, сравнивая температуру на двух термометрах - с влажным и сухим шариком; этот прибор называется психрометром. При одинаковом показании обоих термометров относительная влажность равна 100%; если же "влажный" термометр показывает меньше, чем "сухой", то относительная влажность менее 100%. В экологических исследованиях часто пользуются еще и гигрографом - прибором для измерения относительной влажности, позволяющим вести непрерывную запись.



Не менее интересна теплота парообразования воды, которая более чем в два раза превосходит теплоту парообразования веществ с наиболее высокой величиной этого параметра - выше $400 \cdot 10^3$ Дж/кг. На испарение 1 кг воды расходуется $2254 \cdot 10^3$ Дж, т.е. в 7 раз больше количества теплоты, необходимого для плавления льда. Это количество также идет на пользу жизнедеятельности биосферы: крайне медленное испарение воды в самые экстремально знойные годы позволяет сохранять баланс воды в гидросфере. Еще одно необычное свойство воды - ее очень высокая удельная теплоемкость*. Для сравнения напомним, что удельная теплоемкость воды 4,1868 кДж/(кг·К), растительных масел - 2,094; ацетона - 2,219; фенола - 2,345; метилового спирта - 2,345; глицерина - 2,428; этилового спирта - 2,847; парафина - 2,911 кДж/(кг·К).

Как видим, удельная теплоемкость воды почти в два раза превышает этот параметр для любой из указанных жидкостей. Благодаря именно такой высокой удельной теплоемкости на континентах планеты, окруженной огромными водными массивами Мирового океана, не происходит резкого перепада температур ночью и днем, зимой и летом.

Теплоемкость любого вещества увеличивается с нагреванием его. Вода и в этом случае составляет исключение: с повышением температуры воды от 0 до 37°C теплоемкость ее падает, а при дальнейшем нагревании от 37 до 100°C теплоемкость повышается. Удивительно и то, что теплоемкость водяного пара значительно меньше - 2,08 кДж/(кг·К) и близка к теплоемкости льда - 2,06 кДж/(кг·К). Рассматривая температурную зависимость удельной теплоемкости, стоит обратить внимание на интересную связь свойств воды с физиологическим процессом поддержания температуры тела в определенных границах ($36,1$ - $36,2^{\circ}\text{C}$). Действительно, теплоемкость воды достигает максимальных значений при температуре около 37°C , совпадающей с нормальной температурой тела человека, поддерживаемой его организмом путем само-

* Удельная теплоемкость - величина, показывающая, сколько необходимо затратить тепла для нагревания 1 г воды на 1°C или 1 кг воды на 1 К (Кельвин).



регуляции для сохранения установившейся последовательности, взаимосвязанности и скорости биологических процессов, или, иными словами, для нормальной жизнедеятельности. Именно при температуре около 37°C сложнейшие биохимические процессы в организме человека обеспечивают наиболее оптимальную жизнедеятельность, т.е. организм человека находится в наивыгоднейшем энергетическом состоянии.

Благодаря своим уникальным свойствам и, прежде всего, устойчивости и широкой распространенности на нашей планете, вода была принята в качестве вещества с эталонными физическими характеристиками измерения температуры, тепла и массы.

Температура замерзания воды при нормальном атмосферном давлении принята за нуль, а температура кипения - за 100° по шкале Цельсия. За единицу измерения количества тепла принято такое его количество, которое необходимо для нагревания 1 г воды от 15 до 16°C . Эту единицу количества тепла называли калорией. Для определения массы была использована масса 1 см^3 дистиллированной воды при температуре ее наибольшей плотности, названная граммом.

Распределение осадков по временам года - крайне важный лимитирующий фактор для организма. Количество осадков, как правило, зависит от характера и путей движения воздушных масс или так называемых "погодных систем". Неравномерное распределение осадков по временам года оказывает значительное влияние на жизнедеятельность растений и животных. Так, если осадки выпадают равномерно по времени года при общем их количестве 900 мм, то экстремальные ситуации не возникают; при выпадении того же количества осадков за один сезон растениям и живым организмам приходится переносить длительные периоды засухи со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями.

От количества атмосферных осадков в данном регионе зависит и запас поверхностной воды. Однако в песчаных местах обильные осадки быстро просачиваются сквозь пористую почву, оставляя крайне недостаточное количество воды для нормальной жизнедеятельности растений и животных. И наоборот, иные поч-



вы так прочно удерживают воду, не пропуская ее в подпочвенные слои, что растения не угнетаются отсутствием воды, питаясь водой, накопленной за время дождей. Вода, которая поступает в растения из почвы, почти полностью испаряется (более 95%) через листья. Это уникальное явление энергетики наземных экосистем получило название *транспирации*. *Эффективностью транспирации* принято называть отношение роста продукции к количеству транспирированной воды и выражать обычно в граммах сухого вещества на 1000 г транспирированной воды. Содержание кислорода в водах океанов колеблется в пределах 0-10 мл/л и зависит от абсорбции кислорода в атмосферу (т.е. обогащения) и выделения кислорода водной растительностью в процессе фотосинтеза, а также от десорбции кислорода в атмосферу (обеднения), окислительных процессов, потребления биологическим веществом. Концентрация кислорода увеличивается при понижении температуры и уменьшается с повышением температуры и содержания солей. От концентрации солей зависит температура замерзания воды, и по этому показателю легко определить температуру замерзания моря; например: при содержании солей не более 25 г/кг (Белое море) температура замерзания составит $1,35^{\circ}\text{C}$, при 12 г/кг (Азовское море) температура замерзания - $0,6^{\circ}\text{C}$.

Говоря об исключительных свойствах воды, таящих в себе загадки, которые природа неохотно открывает науке, следует обратить внимание на тяжелую (дейтериевую) воду. Что это за феномен - тяжелая вода? О тяжелой воде, ее качествах и особенно характере воздействия на человеческий организм и природную среду еще далеко не все известно. Обнаружение тяжелой воды современная наука относит к началу сороковых годов нашего столетия. В 1932 г. американский ученый Гарольд Юри (1893-1981 гг.), позднее лауреат Нобелевской премии (1934 г), впервые выделил тяжелый изотоп водорода - дейтерий, содержащийся в обычном водороде. Вскоре после этого ученый получил и тяжелую воду, в молекуле которой вместо атома водорода находился атом дейтерия. Открытие дейтерия подтвердило предсказание Эрнеста Резерфорда (1871-1937 гг.) о существовании тяжелого изотопа водорода. Об открытии дейтерия Г.Юри сделал сообще-



ние в 1931 году на собрании Американской ассоциации развития науки в Нью-Орлеане. В дальнейшем с помощью электролиза, газовой диффузии, дистилляции воды и других методов ученому удалось получить образец с высоким содержанием дейтерия. Тяжелая вода впервые получена Г. Юри и Э.Ф. Осборном в 1932 г. Полагают, что структура H_2O и структура тяжелой воды D_2O почти идентичны, с той лишь разницей, что D_2O значительно прочнее, поскольку дейтериевая вода сильнее водородной.

Природа же продолжает хранить свою тайну в глубинах безбрежного океана. По органическим характеристикам отличить тяжелую воду от обычной оказалось непросто, ибо как тяжелая, так и обычная вода не обладают ни цветом, ни вкусом, ни запахом.

Известие о том, что в природе существует отличная от обычной тяжелая вода, которую мы так или иначе вводим в свой организм в течение всей своей жизни, озадачило многих ученых. "В эволюции химических форм в биосфере и литосфере тяжелая вода не может принимать участия. Вопрос о том, в какой стадии такого эволюционного процесса находится тяжелая вода в нашу эпоху, в стадии накопления ее в природе или в стадии деградации, представляется весьма важным с точки зрения обмена веществ в живых организмах, в которых вода играет первостепенную роль. Все живое проводит через свой организм громадные массы обыкновенной воды, а вместе с ней и тяжелую воду. Какое же влияние оказывает последняя на жизненные функции организма? Пока это неизвестно, но такое влияние должно быть несомненным", - писал академик Н.Д. Зелинский в 1934 г.

Как же влияет тяжелая вода на живые организмы и природу? На этот вопрос пока однозначно ответить нелегко.

Ученые выяснили, что тяжелая вода, в отличие от обыкновенной, подавляет все живое. Микробы в тяжелой воде гибнут, семена не прорастают, растения и цветы гибнут при поливке такой водой. Тяжелая вода губительно влияет на животных. А на человека? К сожалению, о тяжелой воде нам известно еще далеко не все. А что же мы все-таки знаем? Например, знаем, что в 1 т



речной воды присутствует около 150 г тяжелой. В океанской воде ее чуть больше: на 1 т приходится 165 г. В озерах дейтериевой воды обнаружено на 12-20 г больше, чем в реках, из расчета на 1 т. Любопытно отметить, что дождевая вода содержит больше окиси дейтерия, чем снег. Такие различия кажутся странными, ведь и то, и другое - осадки атмосферного происхождения. Да, источник один, а содержание тяжелой воды разное. Молодым ученым предстоит пролить свет на целый ряд вопросов, загадок и гипотез. А пока судьба тяжелой воды тесно переплелась с развитием атомной энергетики. Дейтериевая вода, как известно, используется в ядерных реакторах как теплоноситель и замедлитель нейтронов.

Если же говорить и о физических свойствах тяжелой воды, то пока еще данных о влиянии молекул D_2O на структуру воды нет; но уже известно, что молекулы D_2O повышает вязкость, скрытую теплоту парообразования и скрытую теплоту плавления. Кроме того, в тяжелой воде понижаются диэлектрическая постоянная, электропроводность, растворимость солей, подвижность ионов, давление паров и некоторые другие характеристики.

Можно продолжить, что в недалеком будущем эти и другие свойства D_2O , изучаемые учеными, найдут свое применение в науках о гидросфере, биосфере, литосфере, космосе, в геронтологии, в медицине и т.д.

Особо надо остановиться на грунтовых водах. Общий объем подземных вод с большой точностью установить невозможно. Ориентировочно воды, скрытые под землей, сейчас оцениваются специалистами в 23,4 млн. км³.

До недавнего времени было широко распространено мнение, что грунтовые воды - главный источник пресной воды для питьевого и бытового водоснабжения - это имеющиеся в изобилии "бесплатные" неисчерпаемые блага природы. Если большинство природных ресурсов планеты таких, как, например, нефть, уголь, цветные и драгоценные металлы и т.д. не восстанавливаются, то грунтовые воды мы склонны были считать подарком природы, данным нам навсегда. Замечательная особенность водных ресурсов - способность к возобновлению в процессе кругово-



Инженерная экология

рота - успокаивала сознание. В научной литературе и даже некоторых учебных пособиях, изданных уже в 90-е годы, вопросу об истощении грунтовых вод не уделено внимания.

Сегодня изучение истощения и загрязнения запасов подземных вод показало ясно, что мы имеем дело в этом случае с весьма лимитирующим фактором. Именно поэтому грунтовые воды - один из самых важных для человека ресурсов - взяты под защиту закона.

Основы водного законодательства в нашей стране предусматривают использование пресной воды лишь для питьевого и бытового водоснабжения. Подземная вода образует водоносные пласты, горизонты и гидрологические бассейны, эксплуатация которых для нужд, не связанных с питьевым и бытовым потреблением, разрешается только с согласия специальных государственных органов, осуществляющих регулирование, использование и охрану водных ресурсов. К крупнейшим бассейнам в стране относятся: Московский артезианский, Днепровско-Донецкий, Западносибирский и другие.

Подземные воды, несмотря на лучшую естественную защищенность по сравнению с поверхностными водоемами, тоже подвержены загрязнению вредными веществами.

Различают два основных вида загрязнений подземных вод: микробное и химическое. Очагами микробного загрязнения могут быть поля ассенизации и фильтрации, животноводческие фермы и другие объекты, в которых осуществляется прямая фильтрация загрязненных вод. Источниками химического загрязнения чаще всего служат поверхностные воды и атмосферные осадки, загрязняемые промышленными выбросами в воздушную среду, а также на территории промышленных предприятий, агрооможденных отходами производства, ядохимикатами поверхностно-активными веществами (ПАВ). Особую опасность представляют воды, смываемые с сельскохозяйственных полей и промышленных площадок, просачивающиеся через поры и трещины пластов земли и загрязняющие подземные воды продуктами химических удобрений, ядохимикатами, а также солями металлов и их



Инженерная экология

окислами, кислотами, цианистыми соединениями и т.д. Не менее опасны утечки углеводородов - нефти, бензина, керосина, мазута, особенно в больших количествах, которые способны быстро просачиваться в водоносные горизонты. Однако подземная вода обычно намного чище речной и озерной, так как она хорошо защищена совокупностью гидрологических условий, предохраняющих от попадания вредных веществ в водоносные пласты. Именно это позволило во многих городах (например, Минске, Киеве, Тюмени, Витебске) почти полностью перейти на подземную питьевую воду. Около двух третей наших городов для питьевых и бытовых нужд используют воду из-под земли и еще 20% потребляют подземную воду с речной водой.

Однако в связи с заметным ростом населения и его производственной деятельностью потребность в воде значительно стала возрастать и сейчас достигла таких масштабов, что проблема нехватки пресной воды возникла практически во всех промышленно развитых странах.

В США грунтовые воды дают 25% всей пресной воды. Говоря об использовании подземных вод в США, крупный американский эколог Ю.Одум свидетельствует, что в 1975 г. около 70% грунтовых вод шло на орошение, а в последующий период, т.е. в 80-х годах, потребление воды в этих целях резко возросло: 15% идет на нужды промышленности и примерно столько же - на бытовые нужды. В основном в сельскохозяйственных районах Запада США в 1975 г. почти четверть всех водозаборов превышали приток. Приводя в пример водоносный горизонт Огаллала, снабжающий водой равнины Техаса, Канзаса, Оклахомы, Небраски и водосточной части Колорадо, ученый пишет, что производство зерна, основанное на орошении в указанных районах, составляет существенную часть экспортных товаров, поступлениями от которых США расплачиваются за ввозимую из-за рубежа нефть. Приносящая миллиарды долларов экономика этого региона, - отмечает Ю. Одум, - основана на комбинации "ископаемой" воды с горючими ископаемыми (которые необходимы, чтобы выкачивать воду). Предсказывают, что за два-три предстоящих десятилетия этот водоносный слой будет практически исчерпан. Иско-



паемая вода кончится раньше ископаемого топлива, но и топливо окажется без воды бесполезным. Тогда этот регион будет охвачен тяжелой экономической депрессией, и придется искать какое-то другое место для выращивания зерна - если только не окажется возможным перебросить сюда воду из речной системы Миссисипи.

Полагаем, что мимо внимания читателя не прошел факт "искусного" решения экологической проблемы, связанной с добычей нефти и других видов топлива. Связанные с вредной технологией и загрязнением биосферы (в частности, и сточных вод) разработка и производство топлива заменяются безобидным, на первый взгляд, орошением полей для производства экспортируемого зерна, за счет поступления от которых США платит за импортируемую нефть.

Но это только на первый взгляд. Решая одну экологическую проблему - не загрязнять окружающую среду производством, добычей и разработкой топлива, закупая его за рубежом, упускают другое: бесконтрольное сведение грунтовых вод приводит к другому, не менее тяжелому кризису. Не лучшим является и локальность "решения" экологической проблемы путем приобретения топлива, ведь попытка не загрязнять среду одного региона за счет щедрой оплаты производства, загрязняющего среду в другой части планеты, в глобальном, т.е. планетарном, балансе экологический дефицит отнюдь не устраняет. Биосфера постоянно разрушается. От каждой экологической катастрофы страдает все человеческое общество в целом и его потомство. Как и всегда, причина и следствие находятся в единстве. Любое явление природы и общества есть следствие той или иной причины. И если мы - люди - загрязняем среду обитания или сводим леса и воды без учета возможностей природы, самовосстановления, естественного развития всех компонентов биосферы, то в этом случае следствие - экологическая катастрофа - последует неотвратимо.

Чем больше и невежественнее причина, тем жестче и "невежественнее" следствие. И здесь напрашивается вывод, что человек всегда должен решать свои хозяйственно-экономические задачи в научно-обоснованной взаимосвязи с проблемами эколо-



гии, видеть планету как наш общий дом, как единое целое.

3.6. Антропогенный стресс как лимитирующий фактор индустриальной цивилизации

Природные экосистемы постоянно подвержены антропогенным воздействиям, несущим нарушения нормальной жизнедеятельности природы и живых организмов от клетки до человека. Эти негативные напряжения называют антропогенным стрессом (от англ. - давление, напряжение). Условно различают два вида стрессов экосистем:

- 1) внезапный острый стресс с быстрым ростом нарушений, но небольшой продолжительности;
- 2) хронический стресс с относительно невысокой интенсивностью нарушений, несущий постоянно беспокоящие воздействия.

Природные экосистемы обладают значительной способностью справляться с тяжелыми периодическими и острыми нарушающими воздействиями и нередко восстанавливаются после загрязнения окружающей среды. Однако это замечательное свойство природы имеет свои пределы. Непрерывно продолжающиеся загрязнения и отравления уже сегодня приводят к хроническим, устойчивым, нарушениям. Эволюционная способность к адаптации не может защитить организмы от все возрастающего потока токсичных отходов. Ядовитые отходы, особенно выбросы химической промышленности, стали реальной угрозой здоровью человека и всего живого на планете и представляют собой основной лимитирующий фактор.

Загрязнение пищи, питьевой воды и атмосферного воздуха в настоящее время приблизилось к критическим размерам, наносящим значительный вред здоровью человека.

Одна из главных причин возможной катастрофы - загрязнение рек и озер, а также грунтовых вод и глубоких водоносных горизонтов, поставляющих значительную долю воды для городов, промышленности и сельского хозяйства. Приведем несколько



примеров по катастрофическому загрязнению рек и озер.

Крупнейшая река Европы - Рейн - превращена в сточную магистраль отходов различных промышленных предприятий. Ежегодно в Рейн сбрасывается 941 т ртути, 1040 т мышьяка, 1700 т свинца, 1400 т меди, 13000 т цинка, 100 т хрома и 200 млн. т различных сульфатов, нефти и других химикатов. Очистные установки не в состоянии отфильтровать лавинные потоки загрязнений, в результате часть вредных веществ попадает в систему водоснабжения, угрожая здоровью населения более 20 млн. человек (от Базеля до Роттердама). В 1986 г. Рейн сильно пострадал на большом протяжении из-за утечки большого количества ядохимикатов в реку после крупной аварии на химическом заводе фирмы "Сандос" в г. Базеле (Швейцария) в верховьях Рейна. В ряде населенных пунктов ФРГ вынуждены были снабжать людей привозной питьевой водой.

Во Франции в начале прошлого века парижане пили воду непосредственно из Сены. В наши дни во Франции в крупных реках нельзя купаться, редко где можно ловить рыбу из-за загрязнения их сточными водами промышленных предприятий.

В Италии крупнейшая, прекрасная в прошлом, река По превращается в сточную канаву из-за пренебрежения мерами очистки. Теперь это преимущественно мутный поток, загрязненный промышленными и бытовыми стоками. После исследования реки до дельты в Адриатическом море итальянские экологи отметили, что на всем протяжении в 652 км По ежегодно несет в своих водах более 26 млн. т опасных ядов и вредных химических веществ, самая большая река Италии на краю гибели из-за загрязнения.

Главным источником водоснабжения в Египте является Нил, по протяженности - самая большая река в мире (по площади бассейна реки на пятом месте), утоляющая жажду всего животного и растительного мира огромных территорий Северной Африки. Но здесь сточные воды, содержащие промышленные и бытовые отходы, бесконтрольно сбрасываемые в воду, стали угрожать экологическими бедствиями. Специалисты считают, что если не будут предприняты срочные меры по очистке сточных вод, Нил в



скором времени может стать "мертвой" рекой.

В Великобритании река Темза с середины прошлого века загрязнялась сточными водами Лондона в такой мере, что в 1849 и затем в 1854 гг. по этой причине разразилась эпидемия холеры, стоившая столице 25 тыс. жизней. По мнению самих англичан, Темза оставалась до середины 20 в. самой грязной среди сточных рек.

В 60-е гг. оказалась в бедственном состоянии и Москва-река из-за неуклонно возрастающего сброса стоков многих промышленных предприятий, частично или вовсе неочищенных. Один только автозавод имени Лихачева сбрасывает в реку до 120 тыс. м³ загрязненной воды (объем, который потребляет средний город страны), в результате вода в пределах города местами обрела мутный цвет, неприятный запах, рыба вся вымерла.

Среди наиболее загрязненных водоемов: реки Западный Буг, Днестр, Дунай, Дон, реки острова Сахалин, реки и озера Кольского полуострова, нижнее течение Амура, где концентрация ряда загрязняющих веществ превышает предельно допустимые в 10 раз. В бассейнах Дуная - аммонийный азот, соли меди и цинка, Днестра - аммоний и нитратный азот, фенолы, Дона - соли меди, формальдегид, Иртыша - соли железа, Волги - соли меди, Амура - соли цинка, никеля, хрома, Кубани - нефтепродукты.

Самое крупное в Европе пресноводное Ладожское озеро площадью 17700 км² с объемом воды более 900 км³ и богатейшим внутриозерным миром оказалось на грани экологической беды. Вспомним, что площадь бассейна Ладоги составляет 276 тыс. км², что значительно превышает территорию, скажем, такой страны, как Великобритания.

Совсем недавно, в конце 60-х гг., состояние Ладожского озера считалось удовлетворительным, с высоким качеством воды, богатой флорой и фауной. Однако уже в 70-е гг. положение резко ухудшилось в результате бесконтрольных загрязнений, особенно в водах, примыкающих к местам сброса сточных вод. В озере быстро стал развиваться процесс антропогенного эвтрофирования, обусловленный сбросами в озеро большого количества биогенных веществ, особенно фосфора и азота. В такой среде, представ-



Инженерная экология

ляющей собой "прекрасное" озерное удобрение, началось гипертрофированное развитие планктона и других организмов, образующих огромную массу органического вещества, оседающего на дно. Уже говорилось, что минерализация, или разложение, органического вещества связана с расходами больших количеств кислорода, растворенного в воде. Возникает дефицит кислорода, который подавляет жизнь организмов в воде, а также усиливает выделение в воду некоторых веществ из донных отложений, в частности фосфора, который еще более усиливает эвтрофирование озера. В результате процесс получает внутриводное ускорение, становится необратимым и ведет к нарушению экологического равновесия.

По сведениям ученых, в Ладогу сбрасываются неочищенные воды различных промышленных предприятий и в их числе целлюлозно-бумажных, смываются дождями минеральные удобрения и ядохимикаты. Мировая практика показывает, что помочь озеру можно прежде всего резким сокращением поступления в него биогенных веществ. По самым скромным расчетам, за каждый год промедления придется заплатить не менее чем пятью годами, которые потребуются на восстановление естественного состояния озера.

Загрязнение атмосферы ежегодно характеризуется выбросом в окружающую воздушную среду миллионов тонн опасных химических веществ.

Одним из самых распространенных случаев хронического стресса сейчас становятся тепловые загрязнения. Электростанции высвобождают в воздух и воду огромные количества тепла. Особенно большие объемы воды для охлаждения требуются атомным электростанциям. Например, при производстве 1 кВт·ч на тепловой электростанции тепловые отходы в атмосферу и охлаждающую воду составляют соответственно 400 и 135 ккал, а на атомных электростанциях - 130 и 1900 ккал. Подсчитано, что АЭС средней мощности, дающая 3000 мегаватт электроэнергии, производит в час более $5 \cdot 10^9$ ккал бросового тепла.



ЧАСТЬ II. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Что мы понимаем под загрязнением среды? Загрязнение природной среды – это любые изменения воздуха, воды, почв или пищевых продуктов от поступления в их среду каких-либо веществ и энергии, оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье человека, живые организмы и растения, "неживую" природу и любые объекты ноосферы.

Обычно загрязнения создают угрозу человеку и вообще любым организмам, когда присутствие их превышает определенное количество. Содержание загрязняющих веществ, выше которого наблюдаются болезненные реакции организма, называют *пороговым уровнем*.

В наше время загрязнение проявляется в огромных и беспрецедентных объемах по всей планете.

Загрязнители окружающей среды в основном химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии. Они образуются при добыче, переработке и использовании различных ресурсов и могут представлять собой выбросы тепла, шума и вибрации, радиации, различных вредных излучений.

Атмосфера – газовая оболочка Земли, ее масса составляет около $5,5 \cdot 10^{15}$ т – простирается условно (так как точную сферу перехода в космическое пространство установить невозможно) на 2 тыс. км, хотя и на высоте 12 тыс. км обнаружены молекулы земных газов.

Современный газовый состав атмосферы имеет биогенное происхождение, т.е. сформировался в процессе эволюции жизни на планете (табл.4.1).



Таблица 4.1

Газовый состав атмосферы Земли для сухого воздуха, %

Азот	78,1
Кислород	20,9
Аргон и др. инертные газы	0,95
Углекислый газ	0,03
Озон	0,000002

Помимо этого в атмосфере всегда имеются пары воды – примерно до 4%, частицы аэрозолей и в малых количествах другие газы.

Более 80% массы воздуха и почти весь водяной пар находятся в приземном слое – тропосфере (высота до 10 км над полюсами и до 18 км над экватором). В слоях тропосферы температура воздуха уменьшается по мере отдаления от поверхности Земли на каждый километр приблизительно на 6°C , достигая минимума на высоте 10-15 км – минус $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$.

Выше тропосферы располагаются еще четыре сферы:

Стратосфера – находится на высоте около 50 км от границы тропосферы и характеризуется разреженным слоем атмосферы с ничтожным содержанием влаги. Температура воздуха на высоте 30 км сохраняет постоянную величину (-50°C).

Мезосфера – простирается от стратосферы до высоты 80 км и характеризуется значительным понижением температуры (от -75 до -90°C).

Ионосфера – верхняя граница этой сферы достигает высоты 800 км, характеризуется резким повышением температуры, при этом газы, благодаря ультрафиолетовому излучению Солнца, находятся в ионизированном состоянии.



Экзосфера – расположена на высоте от 800 км до 3000 км от поверхности Земли, где господствуют атомы водорода и гелия, образуя экзотическую корону планеты, достигающую 20 тыс. км.

Кислород – самая важная для жизнедеятельности человека составная часть воздуха. Наибольшая часть атмосферы – азот – для биологических процессов в биосфере имеет сравнительно небольшое значение. В атмосфере всегда присутствуют инертные газы: аргон, неон, гелий, криптон, ксенон, не оказывающие биологического воздействия на человека. В воздухе встречаются также радон и его изотопы в сравнительно ничтожных концентрациях. В верхних слоях атмосферы из атомарного кислорода в результате фотохимической реакции под влиянием солнечной радиации образуется озон – активный газ, неблагоприятно действующий на человека. Обычно в нижней части атмосферы концентрация озона незначительна и опасности для человека не представляет.

В атмосфере содержится около 0,03% CO_2 , или $2,3 \cdot 10^{12}$ т, источником которого являются вулканические газы, горячие ключи, дыхание живых организмов и растений и сжигание человеком различных горючих ископаемых. При сжигании топлива выбрасывается в атмосферу ежегодно около $1 \cdot 10^{10}$ т углекислоты, причем объем этих выбросов постоянно увеличивается. В непрерывном обменном круговороте между атмосферой и океаном находится примерно $1 \cdot 10^{11}$ т CO_2 . Время обмена углекислоты в верхних слоях океана составляет 5-25 лет, в глубоких слоях – 200-1000 лет, а полный обмен CO_2 в атмосфере происходит примерно за 300-500 лет.

4.1. Основные источники загрязнения атмосферы

Различают *природные* (естественные) и *антропогенные* (искусственные) источники загрязнения. К *природным* источникам относятся: пыльные бури, пожары, различные аэрозоли растительного, животного или микробиологического происхождения и



Инженерная экология

т.п. *Антропогенные* выбросы в атмосферу ежегодно составляют более 19 млрд. т, из них более 15 млрд. т углекислого газа, 200 млн. т оксида углерода, более 500 млн. т углеводородов, 120 млн. т золы и др.

На территории Российской Федерации, например, в 1991г., выбросы загрязняющих веществ в воздушную среду составили около 53 млн. т, в том числе промышленностью – 32 млн. т (61%), автотранспортом 21 млн. т (39%). В одном из крупных регионов страны, Ростовской области, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух в 1991 и 1996 гг. составили соответственно 944,6 тыс. т и 858,2 тыс. т в том числе:

	в 1991 г.	в 1996 г.
твердые вещества	112,6 тыс. т	81,6 тыс. т
диоксид серы	184,1 тыс. т	133,0 тыс. т
оксид углерода	464,0 тыс. т	467,1 тыс. т
оксид азота	94,3 тыс. т	99,4 тыс. т
углеводороды	79,3 тыс. т	70,1 тыс. т
летучие орг. соед.	8,0 тыс. т	4,4 тыс. т
прочие	3,3 тыс. т	2,6 тыс. т.

Более половины от общего объема составляют выбросы от автотранспорта. Загрязнения в основном получаются в виде побочных продуктов или отходов при добыче, переработке и использовании ресурсов, а также могут представлять собой одну из форм вредных выбросов энергии, например, избыточного тепла, шума и радиации.

Большинство естественных загрязнений (например, извержение вулкана, сжигание угля) рассеиваются по обширной территории, и их концентрация, зачастую, снижается до безопасной (за счет разложения, растворения и рассеивания). Антропогенные загрязнения воздуха возникают на урбанизированных территориях, где большие количества загрязнителей концентрируются в небольших объемах воздуха.

Наиболее опасными и широко распространенными считаются следующие восемь категорий загрязнителей:



Инженерная экология

- 1) взвеси – мельчайшие частицы вещества во взвешенном состоянии;
- 2) углеводороды и другие летучие органические соединения, находящиеся в воздухе в виде паров;
- 3) угарный газ (CO) – чрезвычайно ядовит;
- 4) оксиды азота (NO_x) – газообразные соединения азота и кислорода;
- 5) оксиды серы (SO₂ диоксид) – ядовитый газ, опасный для растений и животных;
- 6) тяжелые металлы (медь, олово, ртуть, цинк и т.д.);
- 7) озон и другие фотохимические окислители;
- 8) кислоты (преимущественно серная и азотная).

Рассмотрим, что это за загрязнители и как они образуются.

В крупных городах можно встретить два основных вида источников загрязнителей: *точечные*, например, труба ТЭЦ, дымовая труба, выхлопная труба автомобиля и т.д. и *неточечные* – поступающие в атмосферу с обширных источников.

Различают твердые, жидкие и газообразные вещества, загрязняющие окружающую среду.

Твердые – образуются при механической обработке материалов или их транспортировке, при сжигании и тепловых процессах производства. К ним относятся пыль и взвеси, образующиеся: первые – при добыче, переработке и транспортировке сыпучих материалов, различных технологических процессах и ветровой эрозии; вторые – при открытом сжигании отходов и из промышленных труб в результате самых различных технологических процессов.

Жидкие загрязняющие вещества – продукт химических реакций, конденсации или распыления жидкости в технологических процессах. Основными жидкими загрязнителями являются нефть и продукты ее переработки, загрязняющие атмосферу углеводородами.



Газообразные загрязнители образуются в результате химических реакций, электрохимических процессов, сжигания топлива, реакций восстановления. Наиболее распространенными загрязнителями в газовом состоянии являются: оксид углерода CO, диоксид углерода CO₂, оксиды азота NO, N₂O, NO₂, NO₃, N₂O₅, диоксид серы SO₂, соединения хлора и фтора.

Рассмотрим наиболее опасные, широко распространенные загрязнители. Каковы они и в чем их опасность?

1. *Пыль и взвеси* – это взвешенные в воздухе тонкие частицы, например, дыма и сажи (табл.4.2). Основными источниками взвеси являются промышленные трубы, транспорт и открытое сжигание топлива. Мы можем наблюдать такие взвеси в виде смога или дымки.

По дисперсности, т.е. степени измельченности различают пыль:

- крупнодисперсную – с частицами размером более 10 мкм, оседающую в неподвижном воздухе с возрастающей быстротой;
- среднедисперсную – с частицами от 10 до 5 мкм, медленно оседающую в неподвижном воздухе;
- мелкодисперсную и дым – с частицами размером 5 мкм, быстро рассеивающуюся в окружающей среде и почти не оседающую.

Таблица 4.2

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха

Группа	Аэрозоли	Газообразные выбросы
Котлы и промышленные печи	Зола, сажа	NO ₂ , SO ₂ , а также CO, альдегиды (НСНО), органические кислоты, бензапирен
Автомобильные двигатели	Сажа	CO, NO ₂ , альдегиды, углеводороды неканцерогенные, бензапирен



Инженерная экология

Нефтеперерабатывающая промышленность	Пыль, сажа	SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , NO _x , CO, углеводороды, кислоты, альдегиды, канцерогенные вещества
Химическая промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (H ₂ S, CO, NH ₃), кислоты, органические вещества, растворители, летучие сульфиды и др.
Металлургия и коксохимия	Пыль, оксиды	SO ₂ , CO, NH ₃ , NO _x , фтористые и цианистые соединения, органические вещества, бензапирен
Горная промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (CO, фтористые соединения, органические вещества)
Пищевая промышленность		NH ₃ , H ₂ S, смеси органических соединений
Промышленность строительных материалов	Пыль	CO, органические соединения

Пыль, способная некоторое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии, называется *аэрозоль*, в отличие от осевшей пыли, называемой *аэрогель*. Мелкодисперсная пыль представляет для организма наибольшую опасность, поскольку она не задерживается в верхних дыхательных путях и может проникнуть глубоко в легкие. Кроме того, тонкая пыль может быть проводником в организм человека различных ядовитых веществ, например, тяжелых металлов, которые на пылинках могут проникать глубоко в дыхательные пути.

Можно привести и другие примеры: комбинация двуокиси серы с пылью раздражает кожу и слизистые оболочки, с повышением концентрации - приводит к нарушениям дыхания и болям в груди, а при очень высоких концентрациях, значительно превос-



ходящих ПДК, вызывает смерть от удушья.

В машиностроительных предприятиях, особенно в цехах горячей и холодной обработки металлов, в воздушную среду рабочих зон выделяется много пыли, токсических и раздражающих газов. Современный стандарт устанавливает ПДК для вредных веществ около 1000 видов. По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на четыре класса:

- 1-й – вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й – вещества высоко опасные;
- 3-й – вещества умеренно опасные;
- 4-й – вещества малоопасные.

Класс опасности веществ установлен в зависимости от норм и показателей (табл.4.3).

Таблица 4.3

Классы опасности и пределы уровня загрязнения

Наименование показателя	Норма для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10	Более 10
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500-5000	5000-50000	Более 50000

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации, которые при ежедневной 8-часовой (кроме выходных дней) работе или при другой продолжительности (но не более 41 ч в неделю) в течение всего рабочего стажа не вызывают заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

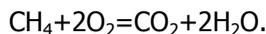
Предельно допустимая концентрация представляет пер-



вичный стандарт, являющийся критерием загрязнения, это максимальный уровень загрязнения, который человек может переносить без ущерба для здоровья, плюс 10-15% как запас прочности.

2. *Углеводороды* – это органические соединения углерода и водорода. В технике и промышленности они используются в качестве энергоносителей, например, природный газ, пропан, бензин, растворители для красок и чистящих средств и др. Среди особо опасных углеводородов важное место занимает бензапирен – составная часть выхлопных газов автомобилей и выбросов в атмосферу от угольных печей.

3. *Угарный газ*. При полном сгорании топлива и отходов, представляющих собой органические соединения, образуются углекислый газ и вода:



В случае полного сгорания выбрасывается в воздух двуокись углерода, называемая также углекислым газом (CO_2) при неполно окисленном углероде – угарный газ (CO).

Двуокись углерода – бесцветный газ со слабым запахом образуется при дыхании живых организмов, а также при сжигании угля, нефти и газа на тепловых станциях, в котельных и т.п. В небольшом количестве углекислый газ не опасен, но в очень больших дозах он приводит к смерти. Содержание CO_2 в воздухе постоянно растет, что связано с все более увеличивающимся количеством сжигания угля и нефти. За последние 100 лет содержание двуокиси углерода в воздухе увеличилось примерно на 14%. Рост содержания углекислого газа в воздухе способствует повышению температуры на Земле, так как слой углекислого газа создает мощный экран, не пропускающий в космос тепло, излучаемое Землей, что нарушает естественный теплообмен между планетой и окружающим ее пространством. Это так называемый *парниковый*, или *оранжерейный*, эффект.

Окись углерода (CO) – не полностью окисленный углерод, так называемый угарный газ. CO – ядовитый газ, не имеющий цвета и запаха. Вдыхание угарного газа блокирует поступление кислорода в кровь, приводит к кислородному голоданию тканей с последующим наступлением обморока, паралича дыхательных



путей и смерти.

4. *Оксиды азота* (NO_x) – газообразные соединения веществ, вырабатываемые микроорганизмами; также могут образоваться в продуктах сгорания топлива в автомобильных двигателях, в химической промышленности, например, при производстве азотной кислоты. При высоких температурах горения часть азота (N_2) окисляется, образуя монооксид (NO), который в воздухе, вступая в реакцию с кислородом, окисляется до диоксида (NO_2) и/или тетраоксида (N_2O_4).

Оксиды азота способствуют возникновению фотохимического смога, образованного из продуктов реакции между окислами азота и ненасыщенными углеводородами под активным действием ультрафиолетового излучения Солнца.

Оксиды азота раздражают органы дыхания, слизистые оболочки, особенно легких и глаз, а также отрицательно действуют на мозг и нервную систему человека.

5. *Двуокись серы* или так называемый сернистый газ (SO_2) – остро пахнущий, бесцветный газ, раздражающий дыхательные пути человека и животных, особенно в среде тонкой пыли. Основными источниками загрязнения воздуха двуокисью серы являются горючие ископаемые, сжигаемые в энергетических установках. Топливо и отходы, которые при сгорании попадают в воздух, содержат серу (например, в угле от 0,2 до 5,5% серы). В процессе сгорания сера окисляется с образованием SO_2 . Двуокись серы наносит серьезный ущерб окружающей среде – у растений под действием SO_2 происходит частичное отмирание хлорофилла, что пагубно действует на сельскохозяйственные урожаи, лесные деревья, водоемы, выпадая в виде так называемых кислотных дождей.

6. *Тяжелые металлы*, загрязняя окружающую среду, приносят огромный вред человеку и природе. Свинец, ртуть, кадмий, медь, никель, цинк, хром, ванадий – постоянные компоненты воздушной среды крупных промышленных центров. Примеси тяжелых металлов могут содержать уголь, а также различные отходы.

Примеры: там, где используется в качестве дополнителя в бензин тетраэтилсвинец с целью дешевого предотвращения стука



двигателей (в ряде стран такой способ добавки запрещен) воздух значительно загрязняется свинцом. Высвобождаясь с выхлопными газами, этот вредный тяжелый металл, остается в воздухе и, прежде чем осесть, переносится ветром на большие расстояния.

Другой тяжелый металл – ртуть, попадая из загрязненного воздуха в воду в процессе биоаккумуляции в озерах, попадает в организмы рыб, что создает серьезную опасность отравления человека по пищевой цепочке.

7. *Озон* и различные активные органические соединения, которые образуются в процессе химических взаимодействий оксидов азота с летучими углеводородами, стимулируемых лучами солнца. Продукты этих реакций называются фотохимическими окислителями. Например, под действием солнечной энергии диоксид азота распадается на монооксид и атом кислорода, который, соединяясь с O_2 , образует озон O_3 .

8. *Кислоты*, преимущественно серная и азотная, которые образуют кислотные дожди.

Какие же объекты источников загрязнения атмосферы составляют главную опасность здоровью планеты?

Основными загрязнителями воздуха в промышленных странах являются автомобили и другие виды транспорта, промышленные предприятия, тепловые электростанции, крупные комплексы военной промышленности и атомной энергетики.

Автотранспорт загрязняет воздух городов окисью углерода и азота, углеводородами и другими вредными веществами. Ежегодные выбросы автомобилей в России в начале 90-х годов составили 36 млн. т или 37% от общего объема выбросов (около 100 млн. т/год), в том числе: оксиды азота – 22%, углеводороды – 42%, окиси углерода – около 46% (наибольший объем выбросов от автомобилей отмечен в Москве – более 840 тыс. т/год).

Сейчас в мире несколько сотен миллионов только личных автомобилей, почти половина из них – около 200 млн. - на американском континенте. В Японии из-за ограниченной территории на единицу площади приходится почти в 7 раз больше автолюбителей, чем в США. На совести автомобиля – этой "химической фаб-



Инженерная экология

рики на колесах" – более 60% всех вредных веществ в городском воздухе. Выхлопные газы автомобиля содержат около 200 веществ, приносящих вред здоровью и природе. В них присутствуют несгоревшие или неполностью разложившиеся углеводороды топлива. Количество углеводородов резко увеличивается, если двигатель работает на малых оборотах или при увеличенной скорости, например, при старте на перекрестках у светофоров. В момент нажатия на педаль акселератора выделяется большое количество несгоревших частиц (в 10-12 раз больше чем при нормальном режиме). Кроме того, в несгоревших выхлопных газах двигателя при нормальном режиме содержится около 2,7% окиси углерода, количество которого увеличивается при снижении скорости примерно до 3,9-4%, а на тихом ходу – до 6,9%.

Выхлопные газы, в том числе окись углерода, углекислый газ и многие другие выбросы двигателей, тяжелее воздуха, поэтому все они скапливаются у земли, отравляя человека и растительность. При полном сгорании топлива в двигателе часть углеводородов превращается в сажу, содержащую различные смолы. Особенно при неисправности двигателя за автомобилем тянется черный шлейф дыма, содержащий полициклические углеводороды и в том числе бензапирен. В выхлопных газах содержатся также оксиды азота, альдегиды, обладающие резким запахом и раздражающим эффектом, соединения неорганического свинца.

Черная металлургия – один из крупных источников загрязнения атмосферы пылью и газами. В процессе выплавки чугуна и переработки его на сталь выбросы пыли в расчете на 1 т предельного чугуна составляют 4,5 кг, сернистого газа – 2,7 кг и марганца – 0,5-0,1 кг.

Существенную роль в загрязнении атмосферы играют выбросы мартеновских и конверторных сталеплавильных цехов. Выбросы мартеновских печей в основном содержат пыль из триоксида железа (76%) и триоксида алюминия (8,7%). При бескислородном процессе на 1 т мартеновской стали выделяется 3000-4000 м³ газов с концентрацией пыли около 0,6-0,8 г/м³. В процессе подачи кислорода в зону расплавленного металла образование пыли значительно увеличивается, достигая 15-52 г/м³. Одновременно



Инженерная экология

происходит выгорание углеводорода и серы, в связи с чем в бросках мартеновских печей содержится до 60 кг окиси углерода и до 3 кг сернистого газа в расчете на 1 т выдаваемой стали.

Процесс получения стали в конверторных печах характерен выбросом в атмосферу дымовых газов, состоящих из частиц окислов кремния, марганца и фосфора. В составе дыма содержится до 80 % окиси углерода, а концентрация пыли в отходящих газах составляет около 15 г/м^3 .

Выбросы цветной металлургии содержат технические пылевидные вещества: мышьяк, свинец, фтор и др., поэтому представляют собой серьезную опасность для здоровья людей и окружающей среды. В процессе производства алюминия электролизом в атмосферу выбрасывается большое количество газообразных и пылевидных фтористых соединений. Для получения 1 т алюминия расходуется от 33 до 47 кг фтора (в зависимости от мощности электролизера), более 65 % которого попадает в атмосферу.

Предприятия химической промышленности относятся к группе наиболее опасных источников загрязнения атмосферы. Состав их выбросов весьма разнообразен и содержит много новых, чрезвычайно вредных веществ. Мы мало знаем о потенциально вредном воздействии 80 % этих веществ на людей, животных и природу. К основным выбросам предприятий химической промышленности относятся окись углерода, окислы азота, сернистый ангидрид, аммиак, органические вещества, сероводород, хлористые и фтористые соединения, пыль от неорганических производств и др.

Топливо-энергетический комплекс (тепловые электростанции, теплоэлектроцентрали, котельные установки) выделяет в атмосферный воздух дым, образующийся при сгорании твердого и жидкого топлива. Выбросы в атмосферный воздух от использующих топливо установок содержат продукты полного сгорания – окислы серы и зола, продукты неполного сгорания – в основном окись углерода, сажа и углеводороды. Общий объем всех выбросов весьма значительный. Например, тепловая электростанция, потребляющая ежемесячно 50 тыс. т угля, содержащего примерно 1% серы, ежедневно выбрасывает в атмосферу 33 т серного



ангидрида, который может превратиться (при определенных теоретических условиях) в 50 т серной кислоты. За одни сутки такая электростанция производит до 230 т золы, которая частично (около 40-50 т в день) выбрасывается в окружающую среду в радиусе до 5 км. Выбросы тепловых станций, сжигающих нефть, почти не содержат золы, однако выделяют в три раза больше серного ангидрида.

Воздушные загрязнения нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности содержат большое количество углеводородов, сероводорода и дурно пахнущих газов.

4.2. Вредные последствия загрязнений

Миллионы лет в атмосферный воздух поступали продукты сгорания и различные загрязняющие вещества в результате природных пожаров, стихийных бурь, извержений вулканов. Но благодаря природным механизмам биосферы эти загрязнители рассеиваются в атмосфере, выпадают с осадками или оседают на поверхности земли, а почвенные микроорганизмы неустанно перерабатывают ядовитые вещества в безвредные соединения.

До середины XX в. люди считали, что выбросы в воздух различных загрязнителей и в первую очередь продуктов сгорания рассеиваются в атмосфере без какого-либо вреда. Если вокруг промышленных предприятий и населенных пунктов воздух значительно загрязнялся, то сравнительно на небольшом расстоянии от источника загрязнения он оставался чистым.

Перелом в понимании пагубного влияния человека на окружающую его среду произошел в 50-е годы, когда к числу загрязнителей присоединился бурно развивающийся в это время автомобильный транспорт. В конце 70-х годов (1977) в мире уже было 280 млн. только личных автомобилей (из них 124 млн. на Американском континенте). В среднем в год выброс составляет около 200 млн. т окиси углерода, 40 млн. т углеводорода и 20



Инженерная экология

млн. т окиси азота. В крупных промышленных городах стала появляться едкая коричневая дымка, состоящая в основном из смеси тумана с дымом и копотью, так называемый смог. Разновидностью его является фотохимический смог, образованию которого способствует солнечный свет.

Загрязняющие атмосферу вещества значительно ухудшают микроклимат города – увеличивается количество туманных дней, снижаются прозрачность воздуха, освещенность и ультрафиолетовая радиация. Смог ухудшает здоровье людей, вызывая головные боли, обострения различных хронических заболеваний типа астмы, а при повышении уровня загрязненности повышается смертность, гибнут животные, вымирают многие виды деревьев. При смещении облака смога за пределы города поражаются или даже полностью погибают урожаи сельскохозяйственных культур. В ряде крупных промышленных городов планеты катастрофическое загрязнение воздуха вызвало трагические последствия, связанные с тяжелыми заболеваниями и гибелью людей (табл.4.4).

Отсюда и пошла печальная слава некоторых крупных городов как родины смога – явления, искусственно созданного человеком.

Таблица 4.4

Загрязнение городов и стран

Место смогового загрязнения	Дата	Количество случаев заболеваний со смертельным исходом
Долина Меза, Бельгия	декабрь 1930	63
Донора, шт. Пенсильвания США	октябрь 1948	20
Пока-Рика, Мексика	ноябрь 1950	22
Лондон, Великобритания	декабрь 1952	4000
Нью-Йорк, США	ноябрь 1953	250



Инженерная экология

Лондон, Великобритания	январь 1956	1000
Лондон, Великобритания	декабрь 1957	800
Лондон, Великобритания	декабрь 1962	700
Нью-Йорк, США	январь 1963	400
Нью-Йорк, США	ноябрь 1966	168
Лондон, Великобритания	февраль 1980	1000

Лондонский смог – это смесь дыма и тумана, главный компонент которого сернистый газ в количестве 5-10 мг/м³ и выше. Фотохимический туман может возникнуть при несколько низких концентрациях загрязнителей, чем лондонский смог. Родиной фотохимического смога считают Лос-Анджелес, где сильно выраженная желто-зеленая или сизая сухая дымка фотохимического тумана наблюдается более 60 дней в году. Основной причиной образования такого смога является сильное загрязнение воздуха сочетанием газовых выбросов предприятий химической промышленности и выхлопными газами автомобилей.

С глобальными экологическими потрясениями связывают сейчас парниковый эффект и неуклонное повышение уровня Мирового океана. Эти опасения вполне реальны в обозримом будущем жизни Земли. Что это за глобальные последствия изменения атмосферы, гидросферы и климата нашей планеты?

За последние 100 лет средняя температура поверхности Земли возросла на 0,5-0,6 градуса. Некоторые газы антропогенного происхождения, попадая в верхние слои атмосферы, образуют экранирующий слой, затрудняющий отдачу тепла с поверхности Земли, подобно тому, как действует прозрачная пленка или стекло в сооружаемых теплицах. Отсюда и название – парниковый эффект, который способствует нарушению нормального теплообмена планеты с окружающим космическим пространством и ведет



к повышению температуры Земли. Специальными замерами доказан прирост в атмосфере углекислого газа на 0,4% в год, метана – на 1% и закиси азота на 0,2%. Основным источником парникового эффекта до недавнего времени считался углекислый газ, получаемый в результате сгорания ископаемого топлива.

По данным, полученным в период международного геофизического года (1957-1958гг.), средняя концентрация CO_2 в атмосферном воздухе равна $314,5 \cdot 10^{-6}$, а экстремальные колебания ее в отдельных регионах составляют примерно $6 \cdot 10^{-6}$ (шесть частей на миллион). При этом около половины углекислого газа, получаемого при сгорании ископаемого топлива, идет на увеличение концентрации его в воздухе, а вторая половина потребляется растительными организмами в процессе фотосинтеза. Более 5/6 CO_2 поглощается на поверхности океанских и морских вод и всего 1/6 – на суше. Расчеты советского ученого Г. Заварина и американского ученого профессора У. Кларка показали, однако, что интенсивное развитие парникового эффекта происходит по причине антропогенного нарушения жизнедеятельности огромных микробных сообществ Сибири и части Северной Америки. По оценкам ученых глобальная температура планеты будет возрастать на $0,5^{\circ}$ каждые следующие 10 лет.

Важную роль в создании парникового эффекта играют и пары воды в атмосфере, которые поглощают инфракрасное (тепловое) излучение, образуя как бы тепловое покрывало, сохраняющее тепло планеты.

Отмеченная тенденция к накоплению тепла на земле ведет к резкому изменению климата и опустыниванию земель, которые и сейчас уже простираются на 6 млн. га. В текущем столетии процесс превращения культурных земель и богатых естественных пастбищ в пустыни приобрел характер планетарного бедствия, основной причиной которого является пагубная для природы деятельность человека. Так, в Азии долина реки Инд, известная в прошлом непроходимыми лесами, сохранила леса лишь на 3% территории, а бывшие могучие джунгли на севере Бангладеш сейчас занимают всего 16% площади страны.

Еще в 30-х гг. климатологи установили, что температура



Инженерная экология

воздуха на территориях, занимаемых крупными городами планеты, выше температуры окружающих эти города местностей. Такие города с населением свыше 1 млн. человек, отличающиеся более высокой среднегодовой температурой, климатологи стали называть "тепловыми островами". Например, температура воздуха в Москве и Петербурге устойчиво выше, чем в прилегающих местностях, на 1-2⁰С. В крупных городах Европы и США разница между среднегодовыми температурами воздуха центральных районов и окраин составляют 4-6⁰С. В результате испарение в городах увеличивается на 5-20%. Статистика показывает, что увеличение температуры над городом вызывает увеличение количества осадков на 5-20% по сравнению с прилегающими местностями. Здесь мы коснулись локальных температурных колебаний, которые, казалось бы, мало что могут изменить на планете. Однако это не совсем так, всякие колебания климата (особенно скачкообразные), как и колебания других характеристик в биосфере, губительны для всего живого, они могут привести к непредсказуемым изменениям. Академик Ф.Ф.Давитая утверждает, что современная биосфера насчитывает менее 1% видов животных и растений, обитавших на Земле за время ее существования.

Антропогенные изменения климата Земли трудно предсказать равно, как нельзя гарантировать человечеству возможность выжить при любых изменениях окружающей среды. Действительно, если, как утверждают ученые, увеличение содержания в воздухе углекислого газа будет продолжаться, то это приведет в обозримом будущем к повышению температуры воздуха (например, в этом столетии – на несколько градусов). А увеличение температуры всего лишь на 2⁰С приведет к таянию льдов Арктики и Антарктики, повышению уровня Мирового океана на 70-75 м. На первом же этапе такой глобальной катастрофы окажутся затопленными многие крупнейшие города, густонаселенные сельские местности, пашни, луга и т.д. Резко уменьшится дебит пресной воды планеты за счет поглощения ее водами морей и океанов. Некоторые ученые утверждают, что может произойти обратное, т.е. не потепление, а похолодание по причине уменьшения прозрачности воздуха, интенсивно загрязняемого техногенными вы-



бросами в атмосферу. В этом случае понижение среднегодовой температуры вызовет оледенение новых пространств, наступление льдов на умеренные широты с вытекающими отсюда последствиями изменения окружающей среды.

Подъем уровня Мирового океана как глобальное последствие изменения климата сейчас уже начался. Считается, что за последнее столетие уровень океана поднялся на 10-12 см., в наше время этот процесс ускорился примерно в 10 раз.

В 1990г. в Стокгольме на международной конференции по экологии парниковый эффект был признан одной из актуальных угроз жизни планеты. Было уточнено, что в современных условиях повышение температуры воздуха будет происходить на 0,3⁰С в десятилетие, а подъем Мирового океана за этот срок составит 6 см. По расчетам экспертов – это катастрофическая динамика характеристик парникового эффекта, которая должна быть рассмотрена в ООН по представлению ученых экспертов международного сообщества по экологии.

К вредным последствиям загрязнения среды относятся:

- вред для здоровья человека – распространение инфекционных заболеваний, изменения на генетическом уровне, увеличение количества детских заболеваний, нервные и раковые заболевания, ухудшение репродуктивной функции, снижение иммунитета, болезни легких;

- ущерб растительности и животному миру – эпидемии, болезни животных и их гибель, снижение качества и урожайности продовольственных культур, ухудшение продуктивности лесов;

- изменение климата – нарушение систем жизнеобеспечения, нарушение естественных процессов круговорота и поступления энергии, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность человека и живых организмов;

- ущерб материальным средствам – физические и химические разрушения материалов, коррозия металлов, загрязнение зданий, зеленых насаждений;



- эстетический ущерб – загрязнение городов, памятников культуры, уменьшение видимости в атмосфере, неприятный запах и вкус и т.д.

4.3. Регламент загрязнения атмосферы

Для улучшения качества окружающей среды необходим контроль загрязнения, который в индустриально развитых странах проводится двумя способами: посредством контроля на входе и контроля на выходе.

Контроль на входе – это мера предупреждения, которая препятствует распространению загрязнителя в окружающую среду или значительно сокращает его проникновение. Примером может служить удаление примесей серы из каменного угля до его сжигания, что резко сократит выбросы в атмосферу диоксида серы, приносящего вред растениям и здоровью человека. Второй пример – это повторное использование или рециркуляция многих продуктов деятельности человека. Можно также использовать экономические "рычаги", устанавливая налоги и штрафы, вынуждая тем самым использовать ресурсы с большей эффективностью.

Контроль на выходе – ставит своей целью ликвидацию отходов, выброшенных в окружающую среду. Например, предупредить попадание в окружающую среду диоксида серы и других химических веществ, образующихся при сжигании угля, можно с помощью очистных устройств на дымовых трубах.

В промышленно развитых странах, исходя из перечня наиболее распространенных загрязняющих веществ, устанавливаются стандарты, уровни которых не должны превышать для того, чтобы сохранить окружающую среду и уберечь здоровье человека. Выполнение требований стандартов и регламентирующих норм содержит следующие этапы: выявление загрязнителей; определение источников загрязнений; установление степени вредности для здоровья человека и окружающей среды; разработка и внедрение мер по защите от загрязнений. Принятие стандартов и нормативных актов, ограничивающих загрязнение окружаю-



щей среды в странах с крупной индустрией, происходило в разное время. России принадлежит приоритет в разработке нормативных регламентирующих актов, в частности устанавливающих предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязнений в атмосферном воздухе. ПДК – это критерий загрязнений, т.е. это максимальный уровень для каждого вредного вещества, который человек может переносить без ущерба для здоровья, плюс 10-15% как гарантия запаса прочности.

Основные критерии вредности атмосферных загрязнений:

1. Допустимой может быть признана такая концентрация того или иного вещества в атмосферном воздухе, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не снижает его работоспособности, не влияет на самочувствие и настроение.

2. Привыкание к вредным веществам должно рассматриваться как неблагоприятный момент и доказательство недопустимости изучаемой концентрации.

3. Недопустимы такие концентрации вредных веществ, которые неблагоприятно влияют на растительность, климат местности, прозрачность атмосферы и бытовые условия жизни населения.

Для каждого вещества, загрязняющего атмосферный воздух, были установлены два норматива – *разовая* и *среднесуточная ПДК* с использованием современных научно обоснованных методов. К тому же периоду относится принятие ПДК атмосферных загрязнений для растений.

Конгресс США, в ответ на требования со стороны граждан, принял в 1970г. акт о чистом воздухе и в 1977г. поправки к нему. Однако не все проблемы были решены, а в некоторых отношениях стало только хуже.



ГЛАВА 5. ГИДРОСФЕРА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

5.1. Водные ресурсы Земли

Гидросфера (от греч. hydro – вода + sphaira – шар) – водная оболочка Земли, объединяющая все свободные воды, способные передвигаться под влиянием солнечной энергии и гравитационных сил, а также переходить из одного состояния в другое. Круговорот воды гидросферы образует взаимосвязанную, замкнутую систему океан – атмосфера – суша.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли включают в себя массивы жидкой (солевой и пресной), твердой (пресной) и газообразной (пресной) воды. По приблизительным подсчетам объем Мирового океана равен 1338 млн. км³, т.е. в Мировом океане сосредоточено около 97% массы воды на Земле*. Остальные 3% приходятся на ледники, подземные воды, воды рек, озер и испарения в атмосферу. Из этого количества воды наибольшие запасы аккумулированы в ледниковых массивах Антарктики и Арктики, объем ледников с учетом снежного покрова планеты равен 24,06 млн. км³. Это огромные запасы пресной воды, которые в настоящее время используются крайне мало. Запасы подземных вод составляют примерно 23,4 млн. км³ (из них 10,5млн. км³ – пресные воды), которые также практически мало используются из-за трудностей, связанных с добычей этих вод. На долю озер приходится 176,4 тыс. км³ (в том числе около 55% воды в проточных озерах, а 45% – в бессточных озерах с разным содержанием солей). В атмосфере в виде пара содержится 12,9 тыс. км³ воды. Общий объем пресной воды на планете равен 35,029 млн. км³ (табл.5.1).

* В разных литературных источниках эти данные составляют от 96,5 до 97,2%, незначительные отклонения встречаются и по данным объемов вод, составляющих гидросферу, например, в списке литературных работ см. Г.В.Стадницкого и др.



Инженерная экология

Для того чтобы получить общую картину масштабов гидросферы, отметим, что площадь поверхности нашей планеты, покрытая только океанами и морями, составляет 361,2 млн. км². На долю ледников приходится 16,3 млн. км² (11% суши), озер и рек – 2,3 млн. км² (1,7% суши), а болот и других мелких бессточных водоемов – 3 млн. км² (табл.5.2).

Таблица 5.1

Запасы воды на Земле

Составляющие гидросферы	Объем, тыс. км ³	Доля мировых запасов, %	
		от общих запасов воды	от запасов пресной воды
Мировой океан	1338000,0	96,5	-
Подземные воды	23400,0	1,70	-
Пресные воды	10530,0	0,76	30,1
Ледники и снежный покров	24064,1	1,74	68,7
Подземные льды	300,0	0,022	0,86
Воды озер:	176,4	0,013	-
пресные	91,0	0,0007	0,26
солёные	85,4	0,0006	-
Воды болот	11,47	0,0008	0,03
Воды в руслах рек	2,12	0,0002	0,006
Биологическая вода	1,12	0,0001	0,003
Воды атмосферы	12,90	0,001	0,04
Общие запасы воды	1385984,61	100,0	-



Таблица 5.2

Площадь гидросферы и ее составляющих
на поверхности Земли, млн. км² (по К. С. Лосеву)

Мировой океан	Мировой океан, оледенение	Мировой океан, озера и реки	Мировой океан, оледенение, озера и реки, болота	Мировой океан, оледенение, озера и реки, болота, снежный покров
361,2	377,5	379,8	382,8	443

Таким образом, при общей поверхности планеты в 510 млн. км² площадь, занимаемая гидросферой, составляет более 380 млн. км² – более 75% поверхности (см.табл.5.2). Всего площадь гидросферы (без снежного покрова) около 383 млн. км². Причем большая часть Мирового океана находится в южном полушарии, где он занимает 81% площади, в северном полушарии на его долю приходится 61% поверхности.

Вода Мирового океана, как уже отмечалось, представляет собой сложный раствор солей (в среднем 35 г солей на 1 кг воды). Эти соли вместе с другими веществами находятся в воде в виде ионов. Основную массу химических элементов, растворенных в воде морей и океанов, составляют 9 главных ионов. Академик В.И.Вернадский, исходя из предположения о том, что соотношение главных ионов морской воды существует в течение огромного периода времени, близкого к миллиарду лет, предлагал принять это соотношение за константу. В табл.5.3 приводятся главные ионы воды.

Соленость воды меняется в зависимости от глубины и по акватории, например, в Северном Ледовитом океане, она составляет 31%, в Красном море - 42%.



Таблица 5.3

Главные ионы морской воды

ИОН	Концентрация, мг/кг	Процент от общей массы
Cl ⁻	18980	55,4
Na ⁺	10560	30,61
SO ₄ ²⁻	2650	7,68
Mg ²⁺	1270	3,69
Ca ²⁺	400	1,16
K ⁺	380	1,10
HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	140	0,41
B ₂ ⁻	65	0,19
H ₃ BO ₃ ⁻	5	0,07
Сумма	34450	99,95

Огромна роль Мирового океана в регулировании содержания углекислого газа в атмосферном воздухе. По данным МГГ* (1957-1958), концентрация CO₂ в отдельных регионах была неравномерна, ее колебания достигали 6·10⁻⁶ (шесть частей на миллион), при этом ежегодное увеличение концентрации углекислого газа в воздухе оценивалось в начале 60-х гг. в 0,72·10⁻⁶ – это около половины поступления CO₂ в атмосферу в результате сгорания ископаемого топлива.

Вторая половина поглощается растительными организмами путем фотосинтеза. Такое поглощение в объеме более 5/6 происходит на поверхности Мирового океана и менее 1/6 - на суше. Проникая (диффундируя) в морскую воду, углекислый газ усваивается микроскопическими водорослями, развивающимися в верхних слоях океана.

* МГГ (1957-1958) - Международный геофизический год, когда было привлечено внимание к отдаленному антарктическому континенту. Одним из важнейших документов МГГ стал международный договор, ратифицированный в 1959г. шестью государствами, который провозгласил Антарктиду немилитаризованной зоной, сохраняемой для научных исследований 90 лет.



Основную массу гидросферы образует Мировой океан. Большая часть акватории Мирового океана – 52,6% – относится к глубинам от 4000 до 6000 м, 38,7% – занимают акватории с глубиной от 200 до 4000 м, и 7,5% – площадь мелководных участков до 200 м (средняя глубина океана – 3800 м, наибольшая – 11022 м).

Поскольку вода – самый мощный поглотитель тепловой энергии Солнца, то, естественно, масштабы, приведенные выше, обуславливают главную роль Мирового океана в регулировании климата на планете. Мировой океан отражает от своей поверхности около 8% солнечной радиации. Благодаря высокой удельной теплоемкости воды на континентах не происходит резкого перепада температур. Гигантский терморегулятор – океан – не позволяет перегреваться континентам летом и переохлаждаться зимой.

Воды океана нагреваются в основном в экваториальном поясе (около полосы от 15⁰ю.ш. до 30⁰с.ш.). В переносе тепла от экватора к полюсам важную роль играют океанические течения, содержащие громадное количество теплоты. Средняя скорость поверхностных течений составляет около 0,1-0,2 м/с, а на отдельных участках доходит до 3 м/с (Гольфстрим).

Средняя температура всей толщи Мирового океана равна 5,7⁰С без учета Арктического бассейна. Это на 22,7⁰С выше средней по массе температуры атмосферы.

По океанам средняя температура толщи вод составляет: в Индийском – 6,7⁰С, в Атлантическом – 5,6⁰С, в Тихом – 4,7⁰С.* Са-

* Самая высокая среднегодовая температура воздуха на Земле составляет 31⁰С в Лу, в Сомали, а самая низкая -55,6⁰С на станции Восток в Антарктиде. Самая высокая температура воздуха, 58⁰ и 57,8⁰С, отмечена в Мексике, в Сан-Луис-Потоси (11 авг. 1933г.) и в Северной Африке, в Ливии, в Эль-Азизии (близ г. Триполи). Полюсом холода считается станция Оймякон в Якутии, где зарегистрирована температура воздуха -77,8⁰С (1938 г.). На станции Восток, в Антарктиде, в 1982 г. была зафиксирована температура -89,2⁰С, но этот результат не засчитан рекордным, так как станция Восток расположена на высоте 3480 м над уровнем моря, в отличие от метеорологических исследований на уровне моря, при которых самая низкая температура отмечена в Оймяконе.



мая теплая поверхность воды отмечена в Тихом океане ($19,4^{\circ}\text{C}$), а самая холодная – под слоем льда Северного Ледовитого океана ($0,75^{\circ}\text{C}$).

Температурные контрасты, вызываемые циркуляцией атмосферы, контрасты солености и неравномерного нагрева поверхности воды, гравитационные силы и их "перепады" от притяжения Луны и Солнца и другие факторы вызывают огромное множество перемещений водных масс Мирового океана.

Проблема объяснения современной циркуляции вод Мирового океана в настоящее время не может считаться решенной даже на уровне весьма качественных гипотез. Это было отмечено на первом съезде советских океанологов в 1977 г. Подземные воды образуют гидросистемы в виде пластов, содержащих поры, трещины и другие пустоты, заполняемые водой. Эти пласты располагаются между водоупорными слоями. По вертикальному разрезу земной коры различают три основные зоны, отличающиеся между собой периодами обмена с поверхностными водами, составляющими гидросферы. Зона интенсивного обмена, расположенная до глубины 0,5 км, с периодом полного обмена с поверхностными водами в пределах 1-100 лет. Зона затрудненного водообмена – на глубине 1,5-2 км – с периодом обмена в десятки и сотни тысяч лет. Зона пассивного обмена на глубине более 2 км, с периодом полного возобновления в миллионы лет. Минерализация вод увеличивается от 1% в верхней зоне, до 3,5% в самых глубоких слоях земной коры.

По аналогии с другими составляющими гидросферы подземные воды представляют равновесие системы "вода – газы", содержащей кислород и азот (активная зона обмена), а также газы, находящиеся в почве, и углекислый газ. Глубже можно встретить сероводород, метан и углекислый газ в большом количестве.

Подземные воды, пожалуй, самая неизученная часть гидросферы. Не случайно, что оценка массы этих вод неоднозначна и исходит из определения запасов воды в слоях глубиной от 2 до 5 км. Вместе с тем, практика бурения глубоких скважин (в частности, и самой глубокой в мире на Кольском полуострове в нашей стране, глубина которой достигла 12 км) показывает, что вода в



недрах Земли в жидком виде может существовать и глубже 10 км. По мере углубления под действием высокой температуры в недрах земной коры образуется парообразная вода, а затем и пароводяная смесь, переходящая в особое состояние своего рода водяной плазмы.

Следующая по массе составляющая гидросферы – ледниковые и снежные массивы в твердом состоянии. Основная масса льда (около $2,6 \cdot 10^{22}$ г воды) сосредоточена в современных ледниках, в том числе в Антарктическом ледниковом покрове – $2,4 \cdot 10^{22}$ г, в Гренландском – $0,2 \cdot 10^{22}$ г, остальное – в арктических, горных и других снежно-ледовых покровах. Снежно-ледовые поверхности постоянно занимают на суше и море 102,6 млн. км² или около 8%, а в зимние периоды северного полушария доходят до 20% площади поверхности Земли. Основная масса льда сосредоточена в полярных и прилегающих (субполярных) областях нашей планеты – в Арктике и Антарктике. Эти огромные области, круглый год скованные морозами, имеют существенное различие, заключающееся в том, что на Северном полюсе под ледяным трехметровым слоем расположена многокилометровая толща воды океана, а в Антарктиде под ледяным панцирем толщиной 3-4 км находится материк (это самый высокий материк планеты, что в сочетании с географическим положением определяет суровость климата, где температура достигает -80°C , а скорость ветра до 80 м/с).

Средняя температура воздуха зимой в Центральной Арктике составляет -36°C , а в самые теплые месяцы – около 0°C . Климат Антарктики значительно суровей условий в Арктике, так как условия в Арктике зимой примерно такие, как в Антарктике летом*. На первый взгляд, это парадоксально, так как летом Антарктика получает приблизительно на 7% больше солнечного тепла, чем Арктика (Земля в своем вращении вокруг Солнца в июне находится в афелии, а в декабре в перигелии). Объясняется это явление следующим. У Южного полюса существует материк, самый высокий над уровнем моря из шести континентов Земли

* По комплексному индексу Бодмана, учитывающему и температуру, и ветер.



Инженерная экология

(средняя высота Антарктики 2000 м, а следующая по высоте Азия – 900 м), при этом толщина материкового льда в Центральной части, вблизи геометрического центра материка, составляет 3000-4000 м. Высота поверхности ледяного панциря в Центральной Арктике, в акватории Северного Ледовитого океана, составляет всего несколько метров и практически соответствует уровню моря. Благодаря разности высот Антарктика в среднем должна быть холоднее Арктики на 13°C (на вершинах ледяных гор и того выше на $25\text{-}28^{\circ}\text{C}$). Кроме того, Северный Ледовитый океан свободно сообщается с Атлантическим океаном на обширном пространстве между северной частью Европы и Гренландией. Мощные потоки теплой воды Атлантики проникают подо льды Северного Ледовитого океана, смягчая климат Арктики. Не менее важно то, что в Северный Ледовитый океан впадают крупнейшие реки Северной Америки и Евразии, неся дополнительное тепло в Арктику. Температура воды в Северном Ледовитом океане зимой подо льдом примерно -1°C (при солености 30 ‰), а на глубине более 100 м – около 1°C .

Важную роль в тепловом режиме планеты и стоке рек играет сезонный снежный покров, который в среднем занимает свыше 40 млн. км². Среди малых по массе составляющих гидросферы это, прежде всего, воды озер, суммарная масса которых оценивается в $2,8 \cdot 10^{20}$ г.* Площадь всех озер (соленых и пресных) на нашей планете несколько больше 2 млн. км². К крупнейшим озерам мира относится Каспийское море, площадь которого составляет 371 тыс. км². Наибольшее скопление крупных озер находится в Северной Америке, где в областях древнего оледенения и тектонических разломов земной коры образовались Великие озера. Самое крупное пресноводное озеро в мире с площадью 82,1 тыс. км² – озеро Верхнее. Но по объему воды (11,6 тыс. км³) и максимальной глубине (406 м) озеро Верхнее уступает Байкалу (24,0 тыс. км³ и 1741 м) и Танганьике (18,9 тыс. км³ и 1435 м). Далее по величине площади следуют озеро Виктория в Африке – 69,0 тыс. км² и печально-трагической судьбы Аральское море –

* Доктор географических наук К.С.Лосев приводит также и другие оценки массы воды озер: $7,5 \cdot 10^{20}$ г и $1,76 \cdot 10^{20}$ г.



Инженерная экология

51,0 тыс. км². Самое крупное в Европе Ладожское озеро имеет площадь 17,7 тыс. км², наибольшую глубину 230 м, затем Онежское озеро – 9,7 тыс. км². Самые глубокие озера мира – Байкал с глубиной 1741 м. и Танганьика в Африке – 1435 м. По солености озера весьма разнообразны, а по концентрации растворенных веществ они ближе к подземным водам, чем к океану. Самым соленым озером считается озеро Виктория в Африке, вода в котором превосходит океанскую по солености в 11 раз, а озеро Балхаш в Казахстане отличается редким качеством, западная часть озера пресная, а восточная солоноватая.

Воды озер содержат разные газы, вместе с атмосферным кислородом, азотом, углекислым газом имеется сероводород, метан и другие газы.

В нашей стране насчитывается 2,85 млн. озер: с площадью поверхности от 100 до 1000 км² – 131 озеро, с площадью более 1000 км² – 27 озер и с площадью от 1 до 100 км² – около 50 тыс. озер.

Болота – малая составляющая гидросферы, характеризующаяся специфическим подбором растительности, приспособленной к повышенной увлажненности и недостатку кислорода в воде. Общая площадь болот и увлажненных земель – около 3 млн. км², из которых на территорию нашей страны приходится до 2 млн. км². Масса воды в болотах приблизительно оценивается равной $1 \cdot 10^{20}$ г.

Почвенные воды гидросферы обеспечивают влагой растительный покров и внутрипочвенные организмы. По данным ученого-гидролога М.И.Львовича, масса почвенной воды составляет $1,0 \cdot 0,8 \cdot 10^{13}$ г.

Реки мира в отличие от других составляющих гидросферы весьма разнообразны по своим характеристикам. Такие великаны, как Нил и Амазонка (длиной более 6 тыс. км каждая) вместе взятые, имеют длину, почти равную диаметру нашей планеты, за ними по длине следует Миссисипи с Миссури и Янцзы. Однако по площади бассейна реки Обь с Иртышем уступают лишь двум рекам мира – Амазонке и Миссисипи с Миссури, а по расходу воды в устье за этими двумя гигантами следуют реки Конго – 41 тыс.



м³/с, Янцзы – 34 тыс. м³/с (табл.5.4).

Таблица 5.4

Десять крупнейших рек мира (по К.С.Лосеву)

Река	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км ²	Расход воды в устье, м ³ /с	Континент
Амазонка (с Мараньонном)	6437	6915	200000	Южная Америка
Миссисипи (с Миссури)	5971	3268	18000	Северная Америка
Нил	6671	2870	3000	Африка
Янцзы	5800	1808	34000	Азия
Обь (с Иртышем)	5410	2990	12800	Азия
Хуанхэ	4845	771	1500	Азия
Меконг	4500	810	14800	Азия
Амур	4444	1855	10900	Азия
Лена	4400	2490	16800	Азия
Конго	4370	3820	41000	Африка

Скорость течения воды в реках разная: от 0,5-1,0 м/с на равнинах до 10 м/с в горных потоках, а на водопадах и того выше.

Речные воды, обычно пресные (за редким исключением, связанным с питанием рек подземными солеными водами), на поверхности суши создают разнообразную речную сеть. Так, крупных рек длиной более 1000 км на Земле более полсотни с общей протяженностью их русел 180 тыс. км. На территории нашей страны насчитывается около 150 тыс. рек с длиной 10 км.

На территории нашей страны размещение водных ресурсов крайне неравномерно, более 4/5 всего речного стока приходится на бассейны крупнейших рек Сибири и Дальнего Востока – Оби, Енисея, Лены, Амура и др., тогда как наиболее заселенная



часть Европейской России, а также засушливые районы Средней Азии и Казахстана имеют сравнительно небольшие ресурсы вод.

Однако с помощью косвенных методов гидрологами подсчитано, что в руслах всех рек мира (при среднем уровне воды) одновременно сосредоточено около 2120 км^3 воды. Ежегодно реки выносят в океан свыше 45 тыс. км^3 воды. Это относительно небольшой объем, составляющий около двух объемов вод Байкала или Великих Американских озер. Распределение речных вод по континентам весьма неравномерно. Так, в Европе и Азии, где проживает около 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% мирового запаса речной воды.

Пресные источники на протяжении длительного исторического периода вполне удовлетворяли потребности человеческого общества в питьевой воде. Однако во второй половине XX в. быстрый рост населения и развитие научно-технического прогресса привели к резкому росту потребления пресной воды. В результате возникла острая проблема нехватки пресной воды в большинстве развитых промышленных районов многих стран мира. Огромное количество воды расходуется на промышленные нужды в различных отраслях – на земледелие, энергетические комплексы, бытовые нужды и т.д. Недостаток пресной воды уже сейчас испытывает более 1/3 населения планеты. Пресная вода стала предметом экспорта (примеры: Гонконг, транспортирующий воду из Китая, целая страна Алжир, живущая на привозной воде и т.д.). Несомненно, что расход пресной воды на самые разнообразные нужды человечества будет возрастать и в дальнейшем, поэтому вода в наше время является самым драгоценным сырьем. В этой связи чрезвычайно важной проблемой человеческого общества в целом является сохранение водных ресурсов от загрязнения.

Наименьшее количество воды на поверхности планеты находится в реках, именно эта вода наиболее важна для человека.



5.2. Источники загрязнения воды

В 1987 г. население нашей планеты превысило 5 миллиардов человек, из которых более половины потребляют воды почти в 10 раз меньше среднего объема, расходуемого на одного человека в мире. Вместе с тем загрязнение сточных вод быстро растет, неся с собой эпидемии с тяжелыми последствиями. По данным Всемирной организации здоровья (ВОЗ), от потребления загрязненной воды ежедневно умирает 25 тыс. человек, а количество ежегодных жертв от плохой воды составляет около 9 миллионов человек (всего на Земле страдает ежегодно от болезней, связанных с загрязнением воды, около 500 млн. человек). Если же население планеты достигнет нынешнего среднего уровня потребления воды, то загрязнения удвоятся, и можно предположить, что количество заболеваний и смертность от загрязненной воды значительно увеличатся.

На заре становления человеческой цивилизации загрязнения вод в основном содержали продукты жизнедеятельности человека и других живых организмов. Они не представляли собой существенной опасности, которая могла бы внести какие бы то ни было заметные изменения в естественные биохимические процессы природы. Природные воды легко справлялись с таким загрязнением, чему способствовали содержащиеся в воде кислород и водные организмы. Однако природная способность самоочищения, разумеется, имеет свои пределы, при нарушении которых замечательная способность самоочищаться сначала ослабевает, теряет активность, а затем и совсем исчезает.

После начала промышленной революции XVIII – нач. XIX вв., в период перехода от мануфактуры к машинно-фабричному производству и быстрого роста городов, резко увеличиваются сбросы загрязненных сточных вод в природные водоемы. Вода, не очищенная от продуктов сброса, поступая в водопровод, вызывает частые вспышки эпидемий.

О масштабах бедствий, вызываемых загрязнением водоемов, могут дать представление вспышки эпидемий в Индии



Инженерная экология

(1940-1950 гг.), вызванные фекальными инфекциями, которые привели к массовым инфекционным заболеваниям с летальным (смертельным) исходом только от желудочно-кишечных заболеваний 27 430 000 человек.

Несмотря на то, что необходимость очистки воды перед подачей ее в питьевой водопровод стала очевидной, еще далеко не везде это требование может быть выполнено. За последние десятилетия промышленно развитые страны стали производить такое громадное количество самых различных веществ (загрязнителей воды), при котором водоочистные сооружения не обеспечивают необходимую очистку питьевой воды. По сведениям национальной ассоциации в защиту природы США, около 26 млн. американцев пьют воду с болезнетворными бактериями, 10 млн. – с радиоактивными веществами, 7 млн. – с пестицидами и свинцом. Во многих других странах загрязнение воды также превышает не только предельно допустимые концентрации, установленные самим человеком, но и противоречит элементарному здравому смыслу, взывающему к сохранению всего живого – к выживанию.

Последние десятилетия особенно стало прогрессировать загрязнение гидросферы, всех ее составляющих – океанов, морей, рек, прудов, болот, подземных вод. Основным источником загрязнения служат отходы антропогенной деятельности: бытовые и промышленные сточные воды, нефть, радиоактивные вещества. Количество указанных и многих других загрязнений гидросферы продолжает катастрофически расти. Опасные загрязнения нефтью и радиоактивными веществами уже сейчас охватывают колоссальные пространства Мирового океана.

Вследствие резко возросших масштабов промышленной деятельности человека в природные водоемы поступает огромное количество взвешенных и растворенных веществ, в основном неорганических, органических, бактериальных и биологических. Источником загрязнения считают объект, вносящий загрязняющие вещества, микроорганизмы и тепло в поверхностные или подземные воды. В большинстве случаев причиной загрязнения водных



Инженерная экология

бассейнов служит сброс в водоемы неочищенных или частично очищенных сточных вод, после использования их в производственной и бытовой деятельности человека.

Многообразие промышленных и коммунальных стоков затрудняет их классификацию. По содержанию загрязнений водоемы разделяют на три группы: содержащие *неорганические, органические, бактериальные* и *биологические вещества*.

В первую группу входят минеральные примеси, содержащие частицы песка, глины, минеральных солей, кислот, щелочей, сернистые соединения, ионы тяжелых металлов. К ним следует отнести воды сернокислотных, содовых и азотно-туковых заводов, шахт и рудников, обогатительных фабрик свинцовых, цинковых, никелевых руд и других отраслей промышленности, сточные воды которых неблагоприятно действуют на естественную воду, значительно ухудшая ее природные свойства – вкус, запах, цвет, прозрачность, pH.

Ко второй группе загрязнений относят органические вещества, в которые входят и ядовитые. Такие сточные воды обычно поступают в водоемы с нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, предприятий синтетического каучука и органического синтеза, коксохимических, газосланцевых, ферромарганцевых и других предприятий. Эти стоки содержат опасные для растительности и живых организмов водоемов фенолы, смолы, сероводород, аммиак, кетоны, нафтеновые кислоты и отходы нефтепродуктов.

Третья группа загрязнений – сточные воды бытового хозяйства, сбросы предприятий медицины и пищевой промышленности; сюда следует отнести также стоки некоторых промышленных предприятий – бойен, кожевенных заводов, биофабрик, производств обработки шерсти, мехов и др.

По источнику загрязнений сточные воды разделяют на промышленные, сельскохозяйственные, бытовые и атмосферные. Промышленные сточные воды являются следствием производства различных отраслей народного хозяйства, среди которых наиболее крупные потребители воды – это черная и цветная металлур-



Инженерная экология

гия, химическая, нефтехимическая, лесохимическая и нефтеперерабатывающая промышленность.

Сельскохозяйственные загрязнения водоемов обусловлены использованием ядохимикатов для подавления вредителей и болезней растений, сорняков. Эти химикаты смываются с больших территорий и неизбежно оказываются в водоемах. Кроме того, большие массы загрязнений поступают в водные объекты от животноводства.

Бытовые сточные воды связаны с жизнедеятельностью городов и населенных пунктов. Это в основном бытовые стоки, содержащие фекалии, микроорганизмы, в том числе патогенные.

Атмосферные воды содержат загрязнители промышленного происхождения, попадающие в воздух, а затем захватываемые конденсирующейся атмосферной влагой, а также поступающие с испарением из стоков воды, смывающей городские улицы, территории промышленных предприятий.

Уже говорилось, что загрязнение прудов, рек, озер, морей и океанов с каждым годом резко возрастает, поэтому необходимо подробнее остановиться на перечисленных источниках загрязнения.

К основным источникам загрязнения природных вод относятся сточные воды промышленных и коммунальных предприятий. Среди первых – это отходы производства при разработке рудных и других ископаемых, отходы древесины при обработке и заготовке лесных материалов, первичная обработка льна и других культур, сбросы водного и железнодорожного транспорта. Кроме того, из промышленных сточных вод особо важное значение в загрязнении водоемов поверхностно-активными веществами (ПАВ) и синтетическими моющими средствами (СМС) имеют стоки предприятий легкой промышленности, особенно текстильной, кожевенной, меховой. Здесь они применяются в качестве моющих средств для очистки шерсти, хлопковой пряжи, при крашении, отбелке и печатании тканей, или, например, для обезжиривания сырых кож при их дублении. В других отраслях ПАВ необходимы в



Инженерная экология

различных "мокрых" технологиях, таких, как флотационное обогащение руд, разделение продуктов химического производства.

Еще одним крупным загрязнителем водоисточников с применением ПАВ стала нефтедобывающая промышленность, широко использующая в своих технологических процессах эти синтетические вещества. Так, ПАВ нужны для улучшения технологии бурения нефтяных и газовых скважин, для борьбы с отложениями парафина, коррозией оборудования.

Сброс в природные водоемы СМС даже в незначительном количестве ведет к образованию пены, а также придает воде неприятный специфический запах. Синтетические моющие средства угнетающе действуют на биохимические процессы, а концентрация их в воде около 1 мг/л приводит к гибели мелкого планктона, при увеличении до 3 мг/л – гибели дафний, до 5 мг/л – замору рыбы.

Промышленные и газодобывающие предприятия обильно загрязняют сточные воды минералами, неорганическими веществами, солями и кислотами. Выбросы часто содержат соли металлов, сами металлы и их окислы, различные кислоты и цианистые соединения, которые, воздействуя на организм человека, могут вызвать интоксикацию, а при определенной токсической дозе привести к выраженному отравлению с комплексом характерных патологических сдвигов в организме. Водные организмы накапливают в себе отравляющие вещества, которые медленно выводятся и почти не обезвреживаются (ДДТ, ртуть, свинец). Многие из этих веществ обладают способностью сохраняться в воде в течение многих лет и создавать опасность отравления людей.

Международная статистика свидетельствует о том, что "токсическая ситуация", сложившаяся в экономически развитых странах, характеризуется постоянным ростом числа общих отравлений, среди которых на первом месте по частоте бытовые и случайные отравления, на втором – так называемые суицидальные, или преднамеренные, на третьем – профессиональные отравления, относящиеся к производственным заболеваниям и травмам.



Особое место среди объектов, загрязняющих гидросферу, занимает химическая промышленность со всеми примыкающими к ней отраслями в промышленно развитых странах. Быстрое развитие химической промышленности отражает зримые, общемировые проблемы ее развития. Среди стран мира, располагающих мощной химической промышленностью, в первом ряду находятся США, Россия, Великобритания, Германия, Франция, Япония. США производят около 30% всей мировой химической продукции, средний годовой темп прироста в 60-е гг. составлял 7%, в начале 70-х гг. прирост химической продукции сократился и только к 80-м гг. восстановился. Одна из крупнейших химических держав – Япония – в 60-е гг. имела годовой прирост химической продукции 13-19%, и сейчас это островное государство дает 8-10% мировой химической продукции.

Доля развивающихся стран в мировой химии в начале 80-х гг. поднялась до 9%. В обозримом будущем следует ожидать, что все большее количество стран будет участвовать в мировом химическом производстве. Хорошо известный девиз – "лучше жить благодаря химии" – вскружил голову и всемирно поддерживается не только в промышленно развитых странах. Между тем теория и практика охраны окружающей среды, в том числе защиты водных ресурсов гидросферы от бесконтрольного загрязнения в третьем тысячелетии в значительной мере отстает от стремительного взлета химического производства.

Сложные проблемы защиты естественных водоемов от загрязнения связаны с промышленными стоками нефтехимических и химических предприятий. Особенно опасные для водоемов фенолы все чаще появляются в стоках предприятий этих отраслей. Попадая в водоем, фенол покрывает поверхность воды флюоресцирующей пленкой, нарушая естественные биологические процессы и равновесие экосистем. При наличии в воде фенола процесс биологической очистки водоема резко замедляется, при содержании его свыше 0,001 мг/л вода обретает неприятный вкус и специфический запах карболки, при 0,01-0,1 мг/л мясо рыб приобретает неприятный вкус и запах, а при больших концентрациях рыба и вовсе несъедобна. Особенно большое количество фенола



Инженерная экология

содержат сточные воды коксохимических заводов, сбрасывающих в течение суток в водоемы до 4-10 т фенола.

Среди продуктов производства, загрязняющих водоемы токсическими веществами, опасными для многих водных организмов, широко распространены углеводороды – нефть, мазут, бензин, керосин и др. Попадая в водоем со стоками, они придают воде неприятный запах, изменяют цвет, покрывают поверхность воды пленкой, а смешиваясь с моющими синтетическими средствами – толстой пеной. Это резко нарушает естественный процесс газообмена с атмосферой и, в конце концов, приводит к значительному понижению содержания кислорода в воде и, как следствие, отмиранию жизни в водоеме.

Автомобильный бензин и соляровое масло даже в малых концентрациях – 0,01 мг/л - делают воду непригодной для питья, точнее 1 мг этих веществ при поступлении в водоем делает непригодным 10 л воды.

Нефтепродукты, попадая в водоем, создают плавающую по поверхности воды пленку, а также смесь смоляных частиц в эмульгированной и растворенной формах. Установлено, что всего одна капля нефти растекается на поверхности в пленку площадью около 25 м², а одна тонна нефти покрывает более 500 га поверхности водоема, что препятствует газообмену, в том числе поглощению водой кислорода. Отсутствие же аэрации, создающее дефицит кислорода, угнетает многие водные организмы и может оказаться пагубным для жизни водоемов.

Растворенные и эмульгированные нефтепродукты наносят большой вред многим водным бактериям. При концентрации сернистой нефти и продуктов ее переработки в воде более 0,2 мг/л наблюдается гибель молоди рыб, при 1,4 мг/л – бентоса и 16 мг/л – замор рыбы. Процессы самоочищения воды от фенола и нефтепродуктов протекают очень медленно, и эти загрязнения (их следы) обнаруживаются на расстоянии до 100 км от места сброса.

Бытовые сточные воды, которые уносят с собой физиологические выделения человека, воду от кухонь, столовых, механизированных прачечных, больниц, бань, хозяйственные воды, об-



Инженерная экология

разующиеся при мытье помещений, гаражей и пр., как сказано выше, также загрязняют водоемы. В этих водах органические вещества составляют около 60%, остальные, примерно 40% – минеральные. Органические вещества в процессе разложения в природных водоемах требуют много кислорода, а дефицит последнего приводит к гибели многих водных организмов и нарушению экосистем.

Особенностью коммунальных сточных вод является их бактериальное загрязнение, при котором в 1 мм³ воды могут содержаться десятки миллионов болезнетворных бактерий. Природная вода, загрязненная такими сбросами, совершенно непригодна для водоснабжения населения. Она содержит бактерии и вирусы, возбудители опасных болезней, которые способствуют вспышкам различных инфекционных заболеваний, таких, как холера, дизентерия, паротит, инфекционный вирусный гепатит, туляремия и др.

С бытовыми сточными водами могут поступить в природные водоемы и синтетические моющие средства. Так, в стоках крупных механизированных прачечных ПАВ содержится от 200 мг/л и выше. Потребление ПАВ на одного жителя составляет 3,5 г в сутки. При потреблении воды в пределах 150-350 л на человека в сутки среднерасчетная концентрация ПАВ в коммунальных стоках составляет 7,1-20 мг/л. Но кроме ПАВ в сточных водах имеются различные ингредиенты синтетических моющих средств, среди которых преобладают триподифосфат натрия, кальцинированная сода, силикат натрия, оптические отбеливатели, алкиламины, сульфат натрия, отдушки парфюмерные и другие вещества. Определенное значение имеют также ливневые стоки, при затяжных дождях объем их может превышать бытовые, а загрязнение поверхности промышленных площадок, завалы мусором и химическими отходами значительно повысят загрязнение водоемов.

Тепловые загрязнения связаны в основном с отводом водо-, теплоносителей в технологических процессах промышленности, а также систем энергопроизводителей и энергопотребителей в природные водоемы. Поступление термальных вод, например, с атомных электростанций, металлургических заводов, дает разницу температуры в водоемах до 30°C, что уменьшает содержа-



Инженерная экология

ние кислорода в воде, затрудняет нормальный газообмен, лирует вспышки цветения водорослей, повышает токсичность ядовитых веществ, нарушая биологическое равновесие.

Опасным источником загрязнения водоемов все больше становится сельское хозяйство, и эта опасность с каждым годом растет. Воды с сельскохозяйственных полей могут содержать синтетические моющие средства, различные химические соединения для борьбы с вредными насекомыми, сорными травами, грибами. Характерно, что за два десятилетия производство и использование минеральных удобрений и средств защиты растений в нашей стране выросло более чем в 18 раз. Такое увеличение количества ядохимикатов, предназначенных для уничтожения насекомых и сорняков и способствующих росту урожайности сельскохозяйственных культур, вполне понятно. Действительно, применение пестицидов (инсектицидов, гербицидов, фунгицидов), химических веществ, обладающих токсическими свойствами по отношению к тем или иным живым организмам, в последние десятилетия позволило не только увеличить производство сельскохозяйственной продукции, но также предотвратить такие опасные для человека заболевания, как малярия и тиф. Однако, попадая в природные водоемы (при неправильном их применении) в значительных дозах, пестициды, особенно органохлористые (ДДТ и более ядовитые – дилдрин и эндрин), на протяжении многих месяцев не поддаются биологическому распаду, накапливаются в живых организмах планктона, рыб, переходя по пищевой цепочке в организм человека.

Химическая промышленность производит много новых веществ с неизвестными или только частично известными биологическими и токсикологическими свойствами. Среди таких веществ широкое распространение в 50-60-х гг. получили пестициды ДДТ, успешно применявшиеся тогда в борьбе с малярией и в целях повышения урожайности. Однако уже в начале 60-х гг. ученые и специалисты-практики стали высказывать опасения о последствиях использования биоустойчивых пестицидов, а некоторые из них выступили против чрезмерного применения ДДТ. Так, Р.Карсон, ученый в области биологии моря, в книге "Безмолвная



Инженерная экология

весна" писала, что промышленники, владельцы крупных промышленных объединений заинтересованы лишь в скорейшем прибыли и не считаются с экологическими последствиями применения пестицидов. В последующие годы исследования специалистов у нас и за рубежом подтвердили правомерность осуждения такого рода излишеств в применении опасных пестицидов.

Теперь уже окончательно установлено, что ДДТ (так же, как и ртуть) - особо опасный ядохимикат, обладающий свойством аккумуляции, т.е. накопления в тканях организма животных и человека. Действительно, хлорорганические соединения ДДТ сохраняют свое действие в течение 10-25 лет. Неслучайно это опасное вещество было обнаружено в тушах животных севера и водоплавающих птиц. Известно также что ДДТ, попадая по пищевой цепочке в организм животных и человека, вызывает генетические изменения и онкологические заболевания. Поэтому у нас и во многих странах за рубежом ДДТ сейчас не применяют.

За последние годы появился чрезвычайно опасный загрязнитель водных объектов – диоксид. В самых малых дозах этот особый ядохимикат, попадая в организм человека, вызывает тяжелые заболевания, которые поражают кроветворную, иммунную и нервную системы. Даже в ничтожно малых дозах яд оказывает канцерогенное и мутагенное действие.

Попадая в организм беременной женщины, диоксид пагубно действует на новый организм, разрушая его. ***Болезни и уродства людей, вызванные ядом, передаются по наследству.*** Отравленная диоксидом печень в результате мутаций под влиянием яда начинает вырабатывать ядовитые для организма вещества.

Широкие круги общественности узнали о коварном ядовитом веществе диоксиде в годы войны во Вьетнаме, когда американцы распылили с самолетов около 200 кг этого вещества. Результат – трагедия для вьетнамцев и бывших американских солдат, длящаяся десятилетия.

В сельском хозяйстве есть крупный источник загрязнения – животноводство, которое создает большое количество органи-



Инженерная экология

ческих загрязнителей (навоз, подстилки, мочевина), в конечном счете, оказывающихся в природных водоемах. Сточные воды с органическими веществами содержат массу биогенных элементов, включая азот и фосфор. Это стимулирует размножение фитопланктона (бурых и сине-зеленных водорослей), а также высших водных растений. Бурный рост количества потребителей кислорода приводит со временем к дефициту последнего. В воде начинают развиваться анаэробные процессы, ведущие к автотрофикации, т.е. повышению биологической продуктивности водных объектов в результате сосредоточения в воде большого количества биогенных элементов.

Наиболее опасными загрязнителями Мирового океана, так же как для человека и всего живого на планете, со второй половины XX в. становятся радиоактивные вещества. В 1954 г. в Тихом океане после взрыва водородной бомбы, произведенного США, огромная площадь акватории в 25600 км² получила смертоносное излучение. Течения в океане способствовали увеличению площади заражения за несколько месяцев до 2,5 млн. км².

Растения и биологические объекты кумулируют в себе радиоактивные вещества, которые затем передаются другим организмам по цепи питания. Кумуляция, т.е. накопление радиоактивных веществ, происходит настолько активно, что радиоактивность некоторых планктонных организмов может в 1000 раз превышать радиоактивность воды, а для некоторых видов рыб – до 50 тыс. раз. Эти заражения могут непредвиденно расширять свои границы. Животные, зараженные радиоактивными веществами, переносят загрязнения на огромные расстояния от источника излучения (например, птицы, залетающие далеко, рыбы, заплывающие на большие расстояния и т.п.).

Степень и форма радиоактивных поражений биологических организмов, обитающих в воде, зависит в основном от величины поглощенной энергии излучения. Характеристики поглощенных доз и степени опасности в зависимости от этих доз широко представлены в существующей литературе.

Московский договор о запрещении испытаний ядерного



Инженерная экология

оружия в атмосфере, космосе и под водой (1963 г.) положил конец массовому радиоактивному загрязнению океана и морей. Между тем продолжается захоронение радиоактивных отходов в недрах Мирового океана, в результате чего проблема загрязнения еще больше обострилась. Контейнеры с отходами радиоактивных веществ, разрушаемые агрессивной океанской средой, становятся источниками заражения. Так в Ирландском море были заражены радиоактивными веществами планктон, водоросли, рыба и все живое в воде именно по причине разрушения захороненных контейнеров.

Радиоактивные загрязнения, связанные с аварией на Чернобыльской АЭС, повлекли значительные и печальные последствия и будут рассмотрены ниже в разделе "Загрязнение гидросферы через атмосферу".

Проблема антропогенного загрязнения Мирового океана, как это стало очевидно, для своего глобального решения требует централизованного управления деятельностью государств по использованию морских и океанских акваторий. Этой проблеме была посвящена XIX Международная конференция "Мир на морях", состоявшаяся в Лиссабоне в 1991 г. Начало проведения этих конференций было положено в 1970 г., когда, как бы в унисон энциклики папы Иоанна XXIII "Мир на земле", изданной в 1962 г., началось движение "Мир на морях", возглавляемое профессором Элизабет Манн-Боргезе, дочерью писателя Томаса Манна (штаб-квартира на Мальте). В частности, на конференции обращалось внимание на необходимость построения новой всеобщей структуры в рамках ООН для охраны Мирового океана, его ресурсов, мирного решения межгосударственных споров и т.д. Такая структура могла бы стать моделью глобального, регионального и национального управления деятельностью человека на морях в текущем и грядущем тысячелетии.

Мельчайшие частицы ртути, превращая ее в своих организмах в метил-ртуть, которая затем по пищевой цепочке – бактерии – планктон – моллюски – хищники водоемов и т.д." попадает в конечном счете в рацион человека.



5.3. Экономика и очистка вод*

ВОДА КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕСУРС

Общие водные ресурсы Земли оцениваются в 1,3 млрд км³, однако только 1,7% этого количества приходится на пресную воду и лишь 0,5% всех водных ресурсов – это пресная вода в парообразном или жидком состоянии, остальная заморожена на полюсах и горных вершинах. Сейчас на каждого жителя нашей планеты доступной пресной воды приходится до 6 тыс. м³, казалось бы, величина достаточная. Но существует два фактора, которые заставляют говорить о водных ресурсах не вообще, а в пределах конкретных районов. Первый фактор – неравномерность распределения пресной воды. Второй фактор – это идущее быстрыми темпами развитие промышленности, урбанизация и рост населения, которые сосредотачивают людей и производство на небольших территориях.

Водные ресурсы в пределах конкретных районов оцениваются величиной стока – количеством воды, стекающей с площади района за год и питающей всех жаждущих. Различают водозаборные, проточные и другие виды потребления воды. Водозабором снабжаются промышленность, коммунальное хозяйство, орошение, теплоцентрали, жилые дома. Когда вода обеспечивает работу турбин гидроэлектростанций, нужную глубину фарватеров или сплавку леса, то говорят о проточном использовании. Сюда же относится и вода, которой разбавляют загрязнения. Прочее потребление – это содержание пресных водоемов, обустроенных для отдыха, туризма, рыбной ловли.

К 2000 г. в среднем по странам мира определилась следующая структура использования пресной воды (в процентах к общему потреблению): орошение – 37,4; коммунальное водоснабжение – 3,2; промышленность – 9,1; разбавление стоков – 48,1; прочие нужды – 2,2.

* Раздел написан совместно с Дангадзе М.К.



В этой структуре красноречиво велика доля воды, идущей для разбавления загрязненных стоков. Следует отметить, что очистка водоемов нужна не только для поддержания в них жизни, но и сами предприятия-загрязнители не могут пользоваться недоброкачественной водой. Когда к прямым затратам прибавляются средства на очистку и разбавление выбросов в водоемы, это отражается на эффективности проектных решений. Водоемкость производства приобретает при планировании, наряду с привычными ограничениями, - наличием сырья, рабочей силы, транспорта – определенное немалое влияние. Объем потребления воды становится лимитирующим фактором при размещении новых производственных объектов или расширении действующих предприятий. К особенно водоемким отраслям относятся химическая и нефтехимическая, целлюлозно-бумажная промышленность, черная металлургия, производство энергии. Значительное количество воды потребляют предприятия пищевой и текстильной промышленности. Много воды потребляется в таких производственных процессах, где необходимо охлаждение. Например, в США из общего количества воды, расходуемой промышленностью, 62% потребляется на охлаждение, 28% - непосредственно в производственном процессе и 1-10% на вспомогательных процессах. Из общего количества воды, которое расходуется при производстве алюминия, 93% идет на охлаждение, при нефтепереработке на охлаждение затрачивается 82% потребляемой воды, при выплавке стали и прокате – 65%.

Важным показателем, характеризующим воду как производственный ресурс, является количество воды, потребляемое на единицу производственной продукции. Так на производство 1 т бумаги, производимой из древесины, расходуется до 136 м³ воды, на тепловой электростанции – 15 м³ воды на получение 1 кВт электроэнергии. В доменном и сталеплавильном производствах на подготовку исходных продуктов, на охлаждение и очистку доменного газа потребляется при получении 1 т стали до 150 м³ воды. Металлургический комбинат мощностью 2 млн т чугуна в год потребляет за сутки 1 млн м³ воды. Если принять, что житель в среднем за сутки потребляет 150 л воды, то это количество соот-



ветствует расходу воды многомиллионного города.

Для ограничения водозабора из источников водоснабжения вводится обратное водоснабжение, благодаря которому дополнительно берется лишь столько свежей воды, сколько выводится из системы в связи с загрязнением, испарениями, безвозвратными потерями, связанными с потреблением воды в производственном процессе. Современные технологии позволяют использовать воду в обороте в среднем до 25 раз. В доменном и сталеплавильном производствах это дает возможность сокращать дополнительный забор воды на 28 м³ на 1 т продукции.

Отрасли предъявляют различные требования к качеству воды. Под качеством здесь понимается минеральный состав, вкус, запах, цвет, коррозионность и мутность воды. Хотя эти свойства и можно изменять, но при большом заборе воды это приводит к нежелательному росту затрат. Поэтому выбор источников водоснабжения следует рассматривать как важную производственно-экономическую задачу. Так вода в холодильниках по возможности должна быть мягкой, иначе появление в них налета будет требовать частой смены труб и охлаждающих установок. Вода, кроме того, не должна содержать и органические вещества, которые усиливают коррозию. Подобные качества должны быть и у воды, циркулирующей в паровых котлах.

Очень высокие требования к качеству воды предъявляются в пивоваренной промышленности, при производстве прохладительных напитков, и в целом в пищевой промышленности. Например, одна из причин столь высоких вкусовых достоинств, а значит, и популярности пльзенского пива – качество воды.

Вода, используемая в фотографической, кинематографической и целлюлозно-бумажной промышленности, не должна содержать соединения марганца и железа, значительно ухудшающие качество продукции. Подобные требования существуют и в текстильной промышленности. Так, в Великобритании около городов Бедфорд и Лидс, где русло рек песчаное, а вода мягкая и чистая, сформировался основной район переработки шерсти, в то время как в других промышленных районах известняковые и мутные воды не пригодны для процессов очистки шерсти и крашения



текстильных изделий.

Интенсификация общественного производства увеличивает требования к качеству и количеству воды. Очень требовательны к качеству воды новые виды производств, в частности в химической и металлургической промышленности. Отныне вода является важнейшим фактором размещения новых промышленных предприятий и городов.

В течение тысяч лет люди, используя блага природы, не задумывались об их исчерпаемости, количестве и тем паче об их искусственном воспроизведении. Эти блага были "даровые". Но ныне все большее количество воды не просто забирается из естественных источников, а перераспределяется и подготавливается человеком, поэтому говорить о водном ресурсе как "даровом" не приходится. Водозаборы на реках – достаточно сложные сооружения, а если учесть стоимость трубопроводов, энергию и эксплуатацию, то понятно, что речная вода отнюдь не "даровой" ресурс.

Бурение и оборудование даже неглубокой скважины для подвода воды к колонке обходится примерно в 50 рублей за погонный метр. Все чаще мы имеем дело с "рукотворной" пресной и чистой водой, получаемой опреснением морской воды. Ныне более 350 отечественных электродиализных опреснителей дают более 80 тыс. м³ чистой воды в сутки. капиталовложения, необходимые для получения 1 м³ пресной воды составляют от 300 до 600 рублей, в зависимости от суточной производительности установки, себестоимость 1 м³ дистиллята от 55 до 75 копеек.

В городах создание и эксплуатация водопроводной канализационной сети обходится недешево. В итоге вода, имевшаяся всегда и везде, как "падавшее с неба" бесплатное благо, превращается в предмет особой заботы (водное хозяйство) и в товар, цена которого зависит от капиталовложений и затрат, обеспечивающих ее поступление. Анализ расходов, например на строительство плотин в США, показывает, что в среднем на хранение 1 км³ воды в крупных водохранилищах затрачиваются капиталовложения до 120 млн долларов. Гарантированное водоснабжение – это результат исследований и расчетов, регулирования стоков



гидротехническими сооружениями, строительства водоводов и водозаборов, улучшения качества воды, а также затрат на очистку стоков. Вода как ресурс суммирует, таким образом, в себе предшествующие затраты. Очевидно, что она должна, удовлетворяя наши потребности, иметь и стоимость, подобно другим природным ресурсам. Учитывая все сказанное выше, понятно, что она будет зависеть от местоположения предприятия, водоносности реки, качества воды, ограничений на водопотребление и других факторов.

Одним из недостатков экономики водопотребления явилась неправильная политика тарифов. Например, с 1 января 1982 г. в СССР повсеместно была введена плата за воду, забираемую промышленными предприятиями из водохозяйственных систем. Установленные тарифы, не давая никакой прибыли, лишь покрывали фактические затраты на эксплуатацию систем и расходы государства на улучшение, оценку и охрану водных ресурсов. Наиболее низкие тарифы были установлены на воду, забираемую промышленными предприятиями из рек и озер северных и восточных районов страны (0,1-0,4 копейки за 1 м³). Наиболее высокие тарифы – на воду из канала Днепр-Донбасс (2,7 копейки за 1 м³) и из уникальных водоемов – озер Байкал и Иссык-Куль (2 копейки за 2 м³). Кроме того, плата за забор воды сверх установленного лимита взималась по штрафному – пятикратному тарифу.

Плата за воду на предприятиях включается в себестоимость продукции, ее расточительное потребление может сказаться на экономической эффективности производства. Введение адекватной платы за воду для промышленных предприятий станет лишь началом в деле рационализации водопользования. Эта плата будет распространяться на более широкий круг потребителей и водных источников, что будет способствовать развитию хозрасчета в системе водного хозяйства.

Экономика водопотребления требует создания экономического механизма, регулирующего водопотребление в сельском хозяйстве, особенно в поливном земледелии. Во всем мире орошается до 260 млн га земли и от 70 до 80% мирового водозабора идет на орошение. В некоторых странах эта величина достигает



Инженерная экология

90%, а в США - чуть менее 40%. По разным оценкам в оросительных системах тратится от 30 до 50% воды впустую. Потери включают: фильтрацию из каналов, избыточный полив, непродуктивное испарение, глубокое просачивание. Переполив и неправильный полив ведут еще и к отрицательным изменениям почв, их засолению, изменению структуры, снижению плодородия, что в целом бьет по экономической эффективности сельского хозяйства.

Дальнейшее развитие оросительных систем немислимо без автоматизированной сети измерения таких важных показателей, как влажность почвы и текущие выпадающие осадки, и программируемых с учетом этих данных для каждого конкретного поля и сельскохозяйственной культуры объема и времени полива, а значит, и конкретно-экономического анализа эффективного использования воды.

Требуют совершенствования и экономические санкции за загрязнение вод. Тут тоже необходим конкретный экономический анализ, ибо эти санкции будут малоэффективными до тех пор, пока размер штрафов не зависит от вида, качества и количества веществ-загрязнителей, и пока они выплачиваются за счет государственных средств, а не средств предприятий.

Важным направлением развития экономики водопотребления является повышение эффективности использования воды в быту. Исследования, проведенные в нескольких странах, показали, что потери воды на магистральных линиях могут достигать 64%, а в ответвлениях магистрального водопровода и домах потребителей – 33%. По данным научно-исследовательского института коммунального водоснабжения в Российской Федерации в водопроводной сети и арматуре теряется за счет утечек в среднем 20%, а во внешней сети 7%, т.е. потери достигают чуть ли ни трети питьевой воды, а ведь это огромное богатство, если учесть, что водопроводы нашей страны каждые сутки доставляют потребителям около 55 млн м³ чистой воды. Кроме того, около 21% питьевой воды в стране уходит без применения прямо в канализацию. В масштабе страны на подачу нерационально используемой воды ежегодно расходуется количество энергии, равное тому,



что вырабатывает ДнепроГЭС.

За счет экономии воды можно было бы сберечь за 5 лет 2,5 млрд. рублей, причем, не уменьшая потребление, а лишь прекращая сброс неиспользованной воды.

Расточительное отношение к воде связано было прежде всего с тем, что она обходилась потребителям очень дешево. Для москвича в 1990 г. это было 50 коп. в месяц, а для петербуржца в два раза меньше. И кроме того, эта плата почти не дифференцировалась и не увязывалась с поведением конкретного потребителя, его бесхозяйственность наносила урон обществу, но при этом никак не отражалась на его собственном экономическом положении.

Таким образом, вода, являясь важнейшим экономическим ресурсом, который напрямую связан с воспроизводством человека – главной производительной силы общества и самоцелью новой экономической системы, фактически уже начавшей формироваться на технологическом уровне современной цивилизации, как экономический ресурс требует экономического механизма, обеспечивающего учет и соотнесение затрат на "создание" этого ресурса и приносимого им общественно-полезного эффекта, причем такого механизма, который нацеливал бы это соотнесение на динамическую социально-экономическую оптимизацию.

Кризисные явления в экономике, нехватка энергетических ресурсов и продовольствия поставили во всем мире во главу угла экономического мышления экономию, правильное распределение ресурсов, в том числе одного из широко потребляемых ресурсов – воды.

Технико-экономические мероприятия, которые содействуют сбережению воды и повышают эффективность ее использования в промышленности, сельском хозяйстве и в быту – настоятельная необходимость нашего времени.

Их дальнейшее развитие может существенно снизить потребление воды как в отдельных странах, так и во всем мире.



ГЛАВА 6. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

6.1. Источники шума и вибрации

В условиях научно-технического прогресса, в результате быстрого развития индустрии, появления современных промышленных предприятий,строек, машин, механизмов и транспортных средств, проблема борьбы с шумом стала одной из самых актуальных. Шум и вибрация оказывают вредное влияние на весь организм человека и, в первую очередь, на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы. На производстве шум оказывает негативное действие на работающего, увеличивает расход энергии организма при одинаковой физической нагрузке, замедляет скорость психических реакций, снижает производительность и ухудшает качество работы.

В машиностроении высокие шумы и вибрации имеются при работах машин и агрегатов, транспортных средств высокой мощности; в литейном производстве при обработке литья, дробеструйной его очистке, работе галтовочных барабанов; в механических цехах станков по холодной обработке металлов, при точении, шлифовке и полировке изделий; в кузнечно-прессовом производстве при работе штампов, прессов, ножниц и другого оборудования для обработки металлов давлением. Мощным шумом сопровождаются испытания двигателей на авиа-, судостроительных заводах. Огромное акустическое загрязнение городов связано с работой городского и личного автомобильного и других видов транспорта, строительных и других машин и механизмов.

В горнорудной промышленности интенсивный шум возникает при подземных работах и в карьерах при использовании горных машин, комбайнов, транспортных средств, отбойного инструмента.

В металлургической промышленности высокие уровни шу-



Инженерная экология

ма отмечаются на участках прокатных станов, подъемно-транспортных механизмов, в технологических системах подачи топлива, кислорода. На химических заводах использование современных мощных крупногабаритных агрегатов, насосов, компрессоров, центрифуг, вентиляторов способствует значительному акустическому загрязнению среды. Источники интенсивного шума имеются на заводах легкой промышленности в ткацких, обувных, деревообрабатывающих, целлюлозно-бумажных и других цехах; на заводах железобетонных изделий. В условиях интенсивного шума работают механизаторы комбайнов и другой сельскохозяйственной техники в агропромышленности.

Снижение производительности труда, рост числа профессиональных заболеваний и производственного травматизма среди рабочих шумных цехов обусловлен негативным влиянием шума на нервную и сердечно-сосудистую системы, функциональное состояние организма. Одновременно прогрессирует процесс утомления и переутомления слуховых органов с развитием процесса профессиональной потери слуха.

Основной характеристикой любого источника шума является звуковая мощность, которая определяется как общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающую среду за единицу времени.

Интенсивность звука в любой точке можно измерить как поток энергии, приходящейся на единицу площади, например, Вт/м². Звуковое давление самого слабого из слышимых звуков, т.е. порогового значения, равно примерно 0,00002 Па/м².

Звуковое давление и интенсивность звука по своей величине могут изменяться в широких диапазонах, по давлению – до 10¹⁶ раз, а по интенсивности в 10⁸ раз. Органы слуха человека реагируют не на абсолютное, а на относительное изменение интенсивности звука, так как интенсивность звука пропорциональна логарифму количества энергии раздражителя. Это привело к введению логарифмической величины уровня интенсивности и звукового давления, выражаемой в децибелах (дБ) – наиболее распространенной единицы измерения, названной в честь Александ-



ра Грейама Белла.

Уровень интенсивности звука определяется по формуле

$$L_1 = 10 \lg I_1/I_0,$$

где I_1 – интенсивность звука в данной точке, Вт/м²; I_0 – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости, 10⁻¹² Вт/м² на частоте 1000 Гц.

Уровень звукового давления рассчитывают по формуле

$$L_p = 20 \lg P/P_0,$$

где P_0 – пороговое звуковое давление, 2·10⁻⁵ Па/м²; P – звуковое давление в данной точке, Па.

Уровни интенсивности звука и звукового давления связаны между собой выражением

$$L_1 = L_p + 10 \lg \rho_0 c_0 / \rho c,$$

где $\rho_0 c_0$ – плотность и скорость звука при нормальных атмосферных условиях; ρc – плотность среды и скорость звука в воздухе при замере.

ПРИМЕР: Определим силу звука в децибелах, если в абсолютных величинах звук составил 10⁻¹² Вт/см². Отношение заданной силы звука к порогу слуха, равному 10⁻¹⁶ Вт/см², составит 10⁻¹²/10⁻¹⁶, т.е. равно 10000. При десятичных логарифмах эту величину (10000) можно представить как 10⁴, т.е. логарифм в этом случае равен 4, а значит, сила звука равна 4Б, или 40 дБ.

Опасные уровни шума оцениваются специальным прибором шумомером в децибелах. Высокочастотные шумы вызывают у человека большее раздражение и неприятное восприятие на слух, чем низкочастотные. Воздействие высокочастотных звуков на человека оценивается по шкале децибела и в единицах дБ (табл.6.1).



Таблица 6.1

Воздействие на человека типичных шумов

Источник шума и расстояние до него	Уровень дБ	Результат шумового воздействия
Взлет реактивной ракеты, 100 м	150	Разрыв ушных барабанных перепонок
Взлет реактивного самолета, 25 м	145	Разрыв ушных барабанных перепонок
Машинное отделение подводной лодки, реактивный двигатель, рок-музыка, цепная пила, близкое расстояние	120	Порог болевых ощущений
Сталепрокатный или другой очень шумный завод	110	Серьезная угроза для нервной системы, слуховых органов и зрения человека
Тяжелый дизельный грузовик, хлопкопрядильный станок, улица города с напряженным движением транспорта	90	Угроза для слуховых органов, и снижение безопасности из-за плохой слышимости
Стиральная машина, посудомоечная машина, миксер, звон будильника, 1м	80	Угроза для слуховых органов
В железнодорожном вагоне	75	Интенсивное раздражающее действие
Телевизор, пылесос, вечеринка, шумный офис	70	Отрицательное действие на общий энергетический тон
Машинописное бюро	45	Интенсивное воздействие на органы слуха



Инженерная экология

Обычный разговор в жилой комнате	50	Воздействие на слуховой аппарат
Библиотека, тихая музыка	40	Воздействие на слуховой аппарат
Шелест листьев, шепот	20	
Дыхание	10	

Воздействие шума на человека болезненно при 120 дБ и смертельно при 180 дБ. Опасные последствия шума, которые возникают при 75 дБ и выше, выражаются в резком ухудшении слуха и зрения, повышении кровяного давления, психологическом стрессе, снижении общего иммунитета, обострении язвенной болезни и других хронических заболеваний.

Теория и практика мероприятий в области борьбы с шумом, разработанная на современном научном уровне, широко представлена в существующей литературе. Роль инженера-эколога в этой области связана не столько с технологическими проблемами, сколько с приоритетом работ в области акустической защиты человека и природы. **Проектировщик** или конструктор **должен начинать** свои разработки не с вопросов, касающихся требуемой мощности, а **с ограничений, налагаемых условиями окружающей среды**. Эти ограничения связаны не с объектами, указанными на чертежах, а с уровнями шума. И цель разработчика новой техники заключается в том, чтобы удовлетворение всем техническим и экономическим требованиям достигалось не в ущерб окружающей среде.



6.2. Источники электромагнитных излучений

Электромагнитные волны радиочастот, часто называемые токами высокой частоты (ТВЧ) – область излучений, характеризующаяся большим диапазоном длин волн: от нескольких километров до десятков и единиц миллиметров.

Длинные, средние и короткие волны по частотной характеристике относятся к высоким частотам (ВЧ), ультракороткие волны – к ультравысокой частоте (УВЧ) и более короткие – к сверхвысокой частоте (СВЧ).

Напряженность электрического и магнитного полей в диапазоне ВЧ – УВЧ в связи с большой длиной волны можно измерить отдельно. При этом интенсивность электрического поля выражают в вольтах на 1 метр (В/м), а магнитные поля – в амперах на 1 метр (А/м).

В диапазоне СВЧ более короткие волны нормируют единое электромагнитное поле, интенсивность которого оценивают по плотности потока энергии излучения (ППЭ) и выражают в ваттах или чаще в его долях: милливаттах (1/1000 Вт) и микроваттах (1/1000000 Вт) на 1см^2 .

Распространение электромагнитных волн радиочастот связано с появлением электрических и магнитных полей (ЭМП). Электромагнитные поля нашли широкое применение в различных отраслях деятельности человека, например, в машиностроении ЭМП применяют для нагревания металлов при плавке, ковке, закалке, пайке, а также неметаллов при склеивании, сушке и других технологических процессах.

Использование ЭМП в различных отраслях привело к улучшению условий труда, снижению трудоемкости и значительному экономическому эффекту. Так, внедрение электрического нагрева токами радиочастот плавильных и нагревательных печей, работающих на нефти, газе и т.п., значительно снизило загазованность воздуха в цехах, резко сократило время и интенсивность



облучения работающих лучистой тепловой энергией.

Применение электромагнитных излучений в диапазоне радиочастот в электротермических установках дает значительные преимущества. Вместе с тем, воздействие указанных полей на организм человека в течение рабочего дня в дозах, превышающих допустимые значения, может привести к тяжелым профессиональным заболеваниям.

Действие ЭМП на организм человека связано главным образом с частичным поглощением энергии тканями тела, что вызывает тепловой эффект. При этом биологическая активность ЭМП возрастает с укорочением длины электромагнитной волны и является более высокой в области СВЧ.

Органы и ткани человеческого тела со слабо развитой системой кровоснабжения более чувствительны к подобному локальному перегреву. Кроме того, некоторые органы и ткани человека особо чувствительны к облучению, например, мозг, глаза, желчный пузырь, почки, мочевой пузырь, кишечник, семенники. Заметим, что проводимость тканей пропорциональна содержанию в них биологической и тканевой жидкости, наибольшую проводимость имеют кровь, лимфа и мышцы, а наименьшую – жировые ткани. Наиболее ранимы от ЭМП нервная и сердечно-сосудистая системы. Появляется нарушение условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности головного мозга, нарушение межнейронных связей.

В начале 70-х гг. эпидемиологи на западе обнаружили, что дети, живущие вблизи линий электропередачи, в два раза чаще болеют лейкемией. Позже исследования института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук показали, что магнитные поля в ультранизком диапазоне имеют большое биологическое влияние на человека, так как соответствуют основным физиологическим ритмам – сердечным, мозговым, частоте дыхания.

Загрязнение окружающей среды электромагнитными излучениями (ЭМИ) сейчас приняло угрожающие размеры. К извест-



Инженерная экология

ным источникам вредных излучений, линиям электропередачи (ЛЭП), некачественной электропроводке и различным электроприборам добавились более коварные и неизученные влияния от персональных компьютеров, радиолокационных станций и продолжающейся развиваться подобной техники.

В отчете "Основные проблемы электромагнитной экологии" НИИ медицины труда Российской Федерации отмечалось, что суммарная напряженность ЭМП во многих районах страны возросла по сравнению с естественным фоном на 3-5 порядков. Ущерб здоровью человека от воздействия ЭМИ характеризуется острой формой невротического состояния, нарушением деятельности сердечно-сосудистой системы, появлением сильных головных болей, изменением артериального давления, резким снижением работоспособности и иммунитета, а хронические действия ЭМИ приводят к раковым заболеваниям, нарушениям деятельности мозга с непредсказуемыми последствиями.

В популярной книге американского автора Пауля Бродера "Облученная Америка" читаем: "...микроволны могут ослепить вас, лишит потенциалы, даже убить и это от вас скрывает госдепартамент, военные ведомства и военно-промышленный комплекс".

Рост напряженности ЭМП и его воздействие на человека и природную среду пока очень мало изучены и часто рассматриваются как негативное, опасное явление с неясными пока биологическими последствиями. Уровни ЭМП вблизи ЛЭП считаются безопасными. Многие специалисты принимают за безопасные для постоянно проживающих вблизи ЛЭП людей уровни электрического поля менее 5 кВ/м и магнитного поля менее 0,1 мкТл. Возделывая грядки под линией электропередачи 400- 735 кВ, вы находитесь в зоне действия электромагнитного поля с напряженностью электрической компоненты более 10 кВ/м. Гигиенические нормативы разрешают работнику находится в зоне действия электрического поля с частотой 50 Гц и напряженностью 10 кВ/м не более 3 часов, а для поля 100 кВ/м и выше - не более 10 мин в день.

Установлено, что различные промышленные силовые



Инженерная экология

электроустановки и городской электротранспорт (источники полей ультранизкого диапазона) в десятки раз превышают силу полей, создаваемых линиями электропередачи. Замеры полей в разных точках Петербурга и его пригородов в радиусе до 90 км показали, что в черте города уровень излучений ЭМП от 10 до 100 раз выше, чем за его пределами, а внутри электропоездов он может быть выше на десятки тысяч раз по сравнению с естественным фоном.

По данным ученых, машинисты и помощники электропоездов болеют гипертонией и ишемической болезнью сердца гораздо чаще, чем представители не менее "напряженных" профессий. Однако пока ученым не удалось установить, как происходят эти процессы и как ослабить их негативное влияние, эти проблемы ждут своих открывателей.

Особую опасность в наше время представляют компьютеры и видеотерминалы различного назначения. В США, где массовое использование компьютеров началось гораздо раньше, чем у нас, уже проведен ряд исследований их влияния на здоровье человека. Оказалось, что те, кто находится в зоне электромагнитного поля с плотностью потока $0,43$ мкТл в 10-15 раз чаще болеют раком головного мозга, и даже такая плотность, как $0,1-0,3$ мкТл, представляет собой угрозу появления злокачественных опухолей у людей. Не менее печальная картина получилась при обследовании женщин, проводящих около 20 часов в неделю у компьютеров. Установлено, что у женщин-операторов компьютеров в 2,5 раза чаще рождаются дети с врожденными пороками, у них также наблюдались нарушения функций центральной нервной системы и жизненно важных органов.

В 1991 г. в США были опубликованы сведения о том, что видеоигры увеличивают вероятность заболеваний лейкозом у детей. В России начались работы по контролю над качеством компьютеров, однако нет норм, т.е. отсутствует юридическая основа контроля, нет надлежащей сертификации. Специалисты считают, что существующие ныне западные экраны не обеспечивают безопасность жизни человека. Только 15% компьютеров, как показали



Инженерная экология

исследования, отвечают действующим стандартам и лишь 2 типа фильтров имеют сертификат качества. Особо приткие организации для рекламы своей продукции используют сертификаты с ошибочными или недостаточно обоснованными параметрами, ссылаются на несуществующие санитарно-гигиенические нормы, указывают на, якобы, полную защиту от вредных воздействий компьютера. Все это усугубляет условия опасных лучевых загрязнений среды обитания.

Главная причина непонимания этих серьезных проблем в том, что вред наносится незаметно, минуя органы чувств человека. Ведь наш организм не располагает природными средствами восприятия сигналов вредного влияния компьютеров. И здесь перед специалистами стоит чрезвычайно важная задача – создать надежные средства защиты.

Процесс образования электромагнитных полей подробно рассматривается в курсах физики, электротехники и прикладных дисциплин. Известно, что вокруг проводника с током возникают одновременно электрическое и магнитное поля. Если ток постоянный, т.е. не меняется во времени, то указанные поля не связаны одно с другим. Если же ток, протекающий в проводнике, переменный, то магнитное и электрическое поля взаимосвязаны и их рассматривают совместно как единое ЭМП.

В машиностроении наибольшее распространение получили электромагнитные волны ВЧ, СВЧ и УВЧ, которые имеют следующие частоты и длины волн (табл.6.2).

Таблица 6.2
Частота и длина электромагнитных волн

Излучение	ВЧ	УВЧ	СВЧ
Длина волны, см	10000-1000	100-10	10-1
Частота, Гц	$3 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^8$ - $3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^9$ - $3 \cdot 10^{10}$

Государственными стандартами установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности электрической (В/м) и магнитной (А/м) составляющих электромагнитного поля (при



СВЧ дифференцировано для излучений, имеющих постоянные и меняющиеся характеристики). Стандарты, устанавливающие ПДУ, должны пересматриваться каждые пять лет и публиковаться в специальных государственных сборниках.

6.3. Ионизирующие загрязнения окружающей среды

Ионизирующее излучение, проникая через то или иное вещество, взаимодействует с его атомами и молекулами. В результате такого взаимодействия атом теряет один или несколько электронов, превращается в положительно заряженный ион, происходит первичная ионизация. Электроны, полученные при первой ионизации, сами взаимодействуют с вторичными атомами, создают новые ионы – это вторичная ионизация. Так, энергия излучения, проходя через вещество, расходуется в основном на ионизацию среды. Число пар ионов, создаваемых ионизирующим излучением в веществе на единицу пути пробега, называется *удельной ионизацией*, а средняя энергия, которая затрачивается ионизирующим излучением на образование одной пары ионов – *средней работой ионизации*.

Название "ионизирующие излучения" объединяет различные по своей физической природе виды излучений. Сходство между ними в том, что, обладая высокой энергией, они через процессы ионизации и последующие химические реакции в биологической среде клетки могут привести к ее гибели.

Ионизирующее излучение не воспринимается органами чувств человека, мы не видим, не слышим и не чувствуем таких воздействий, хотя с таким излучением человек встречается ежедневно, в каком регионе планеты он бы не находился. Это так называемый радиационный фон Земли, состоящий из трех компонентов: космического излучения; излучения естественного; находящегося в почве, воде, воздухе, строительных материалах, излучения от природных веществ. Эти вещества с пищей и водой попадают внутрь организма и сохраняются в тканях тела че-



ловека в течение всей его жизни. Наряду с этим, человек подвергается воздействию искусственных источников излучения, включая радиационные нуклиды, широко применяемые в народном хозяйстве.

Что такое радиоактивность? Радиоактивность – это самопроизвольное превращение (распад) атомных ядер некоторых химических элементов (урана, тория, радия, цезия, циркония и др.), приводящее к изменению их атомного номера и массового числа. Такие элементы называются *радиоактивными*.

Активностью называют меру количества радиоактивного вещества, выражаемую числом радиоактивных превращений в единицу времени. В системе единиц СИ за единицу активности принят беккерель (Бк) – одно ядерное превращение в секунду (расп./с) Внесистемной единицей измерения активности является кюри (Кю).

Виды ионизирующих излучений подразделяют на две группы: электромагнитное (рентгеновское и гамма-излучение) и корпускулярное (излучение разного рода ядерных частиц).

Рентгеновские и гамма-излучения относятся к широкому спектру электромагнитных излучений. Они располагаются в спектре вслед за радиоволнами, видимым светом, ультрафиолетовыми лучами. Самой короткой длиной волны и наибольшей частотой электромагнитных колебаний в этом спектре обладают рентгеновские и гамма-излучения. Чем меньше длина волны, тем выше энергия излучения и тем больше его проникающая способность.

Солнце является источником рентгеновского излучения, которое поглощается атмосферой, в противном случае оно бы губительно действовало на все живое. Гамма-излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение, которое сопровождает ядерные реакции и распад многих радиоактивных веществ.

Для защиты от гамма-излучения, которое может пройти через человеческое тело, эффективно используют свинец, бетон или другие материалы с высоким удельным весом.



Альфа-излучение – это поток тяжелых положительно заряженных частиц (в 7300 раз тяжелее бета-частиц), движущихся со скоростью 20000 км/с. Альфа-излучение по своей физической природе представляет собой ядра атома гелия, обладает большой ионизирующей способностью, но проникает в ткани человека на малую глубину поверхностного слоя кожи. От этих лучей можно защититься листом бумаги. Однако если альфа-частицы попадают в организм человека с пищей, водой или воздухом они, становятся очень опасным облучателем организма изнутри.

Бета-излучение – это поток отрицательно заряженных частиц, электронов и позитронов, скорость которых приближается к скорости света. Бета частицы могут проходить сквозь слой воды толщиной 1-2 см. С целью защиты от бета-частиц используется лист алюминия, толщиной несколько миллиметров. При внешнем облучении бета-частицами могут возникнуть ожоги различной степени тяжести, а при поступлении источников бета-излучения в организм с пищей, водой и воздухом происходит внутреннее облучение, способное привести к тяжелому лучевому поражению.

Особо опасной является способность радионуклидов при поступлении в организм вызывать различные повреждения от острых, приводящих к гибели, до хронических с отдаленными последствиями тяжелых заболеваний. Животные и растительные организмы обладают различной радиочувствительностью, причины которой до настоящего времени не выяснены.

В результате действия ионизирующих излучений на организм человека и животных в тканях происходят сложные физические, химические и биохимические процессы, нарушается обмен веществ. Любые ионизирующие излучения при воздействии на человека вызывают биологические изменения как при внешнем, так и при внутреннем воздействии, когда радиоактивные вещества через кожу, дыхательные пути или с водой и пищей попадают внутрь организма.

В зависимости от величины дозы, попавшей на поверхность тела или внутрь организма, вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми. Большие дозы при дли-



тельном облучении вызывают необратимые поражения с тяжелым исходом.

Каковы дозы излучения и единицы их измерения? Степень опасности облучения зависит от величины поглощенной дозы, ее мощности, объема облученных тканей и органов, вида излучения. Чем меньше доза излучения, тем меньше биологический эффект. Степень, глубина и форма лучевых поражений биологических объектов при воздействии ионизирующих излучений зависит от величины поглощенной энергии. Поглощенная доза излучения измеряется энергией ионизирующего излучения, воздействующего на массу облучаемого вещества. За единицу поглощенной дозы облучения принят джоуль на килограмм – грей.

В радиационной гигиене широкое применение получила внесистемная единица – рад. Это такая поглощенная доза, при которой количество энергии, поглощенной в 1г любого вещества, составляет 100 эрг. Поглощенные дозы для отдельных частей тела следующие: голова – 20, нижняя часть живота – 30, верхняя часть живота – 50, грудная клетка – 100, конечности – 300.

За последние несколько десятилетий уровень излучения во внешней среде увеличился за счет радиоактивных выпадений после испытаний атомного оружия, а также радиоактивных отходов от атомных электростанций и предприятий атомной промышленности.

Радиоактивные отходы (РАО) – это побочные биологические (или технические) вредные вещества, содержащие образовавшиеся в результате технической деятельности человека радионуклиды. РАО прежде всего поступают в атмосферу и рассеиваются в ней.

Процесс борьбы с РАО включает этапы: улавливание, концентрирование, упаковка, хранение, захоронение. Этап улавливания важен в случае газообразных РАО, среди которых наиболее существенны радионуклиды криптона, ксенона, трития, углерода. Жидкие РАО для захоронения доводят до твердого состояния, включая в стеклообразную массу, а затем заключают в металли-



ческую матрицу, бетонные блоки и пористые керамические материалы.

Самыми многочисленными являются твердые отходы РАО. Считается, что в реакторах АЭС мощностью 1 ГВт за год образуется 300- 500 м² твердых отходов.

Сложной проблемой является выбор геологических формаций для захоронения РАО. Наиболее пригодными для этой цели являются глубокие штольни и шахты, особенно в каменной соли или скальных породах. В любых случаях должна быть обеспечена высокая водонепроницаемость.

Высокую опасность представляют твердые отходы, образующиеся при переработке урановых и ториевых руд, которые отличаются повышенным содержанием естественных радионуклидов (ЕР). Такие отходы могут использоваться в строительных материалах при условии, чтобы концентрация ЕР не превышала утвержденных нормативов.

Радиационный фон производственных и жилых помещений обусловлен во многих случаях наличием радона и продуктов его распада. Источником этих излучений является земная кора, при этом радон образуется из радия, распространенного повсеместно. Определенной проблемой является повышенное содержание радона внутри жилых и производственных помещений, так как много времени население индустриально развитых стран проводит в помещениях.

Искусственными источниками ионизирующего излучения являются также некоторые приборы, которые используют эти излучения в целях диагностики и лечения. Имеются и другие источники излучения, в их число входят телевизоры, компьютерные системы, медицинские приборы (табл.6.3).

Таблица 6.3

Воздействие искусственных источников излучения на человека



Инженерная экология

Источник	Годовая доза, мбэр	Доля от природного фона (до 200 мбэр), %
Медицинские приборы (флюорография 370 мбэр, рентгенография зуба 3 бэр, рентгенокопия легких 2-8 бэр)	100-150	50-75
Полеты в самолете (расстояние 2000 км, высота 12 км) – 5 раз в год	2,5-5,0	1,0-2,5
Телевизор (просмотр программ по 4 ч в день)	1,0	0,5
АЭС	0,1	0,05
ТЭЦ (на угле) на расстоянии 20 км	0,6-6,0	0,3-3,0
Глобальные осадки от испытаний ядерного оружия	2,5	1,0
Другие источники	40	-
Итого	150-200 мбэр/год	

Нормативными документами установлены, например, для АЭС, пределы облучения персонала и населения: соответственно 5 и 0,5 рад в год. Эти уровни доз считаются потенциально безопасными. При выполнении аварийных работ максимально накопленная доза не должна превышать 25 рад. Доза, получаемая за счет существующего фона излучения и от других источников излучения за 70 лет жизни, составит около 14-15 бэр. Неблагоприятное действие от этого уровня излучения на здоровье детей и взрослых не установлено.



6.4. Почва и ее загрязнения

Почва так же, как воздух и вода, подвержена загрязнению. Основные источники загрязнения почвы канцерогенными веществами – выбросы промышленных предприятий, тепловых электростанций, котельных, выхлопные газы воздушного и наземного транспорта. Канцерогенные вещества в почве обнаруживаются повсеместно, причем одним из источников этих загрязнений является атмосфера. Вредные выбросы оседают на почве, а часть из них просачивается в грунтовые воды. Другим крупным источником загрязнения почвы становятся опасные отходы, в числе которых встречаются болезнетворные и смертоносные побочные продукты промышленных объектов либо захоронения особо опасных веществ, ставших отходами технологических и химических процессов атомной, военной и других отраслей промышленности.

С промышленными твердыми отходами в почву поступают всевозможные металлы: железо, алюминий, свинец, цинк, сталь и самые различные химические загрязнения, в числе которых микроэлементы органических и неорганических соединений.

В связи с развитием агропромышленных комплексов потенциальная опасность загрязнения почвы имеется в сельской местности. Орошение, призванное увеличить урожаи сельскохозяйственных культур, в конечном итоге приводит к значительному снижению качества и продуктивности земель за счет чрезмерного накопления солей и подъема уровня грунтовых вод (засоления и заболачивания).

Применение большого количества различного рода удобрений и пестицидов также является одним из источников загрязнения почвы, ибо накопление их может оказать вредное влияние на свойства почвы. В частности, может произойти деградация или изменение численности микроорганизмов отдельных видов, а это влечет за собой процессы, связанные с потерей способности почвы к самоочищению, в конечном счете, к ухудшению плодородия.

В настоящее время наиболее часто используются удобрения



Инженерная экология

ния: альгициды – для борьбы с вредителями, арборициды – для уничтожения нежелательной древесной растительности, бактерициды – для уничтожения вредных микробов, инсектициды, уничтожающие вредных насекомых, гербициды – для борьбы с сорными травами, фунгициды, предупреждающие грибковые заболевания и многие другие.

Среди часто используемых пестицидов особо вредными и опасными являются:

а) органические соединения – хлорорганические, фосфорорганические, хлорофос, метафос, фосфамид, карбонаты;

б) неорганические соединения ртути, свинца, мышьяка, нефтепродуктов.

Главная опасность пестицидов заключается в том, что они вписываются в экологические цепочки, переходят из почвы и воды в растения, птицу, рыбу и, в конечном счете, попадают в организм человека. Насколько ядохимикаты способны в процессе миграции преодолевать все условные географические границы, свидетельствует пример. Антарктидный ледниковый панцирь, которой находится за десятки тысяч километров от регионов применения химических средств, накопил в своем слое более 2000 т ДДТ.

Орошение, призванное увеличить урожаи сельскохозяйственных культур, с течением времени приводит к резкому снижению качества и продуктивности земель. Коренное улучшение земель для сельскохозяйственного пользования путем осушения болот, укрепления сыпучих песков древонасаждением, устройства прудов и водоемов искусственного орошения называется *мелиорацией*. Благодаря орошению удается резко повысить урожайность агрокультур. Однако со временем оно приводит к чрезмерному накоплению солей, т.е. засолению, а также подъему уровня подпочвенных вод, так называемому *затоплению*. При орошении вода, просачиваясь в почву, растворяет соли, тем самым увеличивается содержание солей в воде. Большая часть этой воды испаряется в атмосферу, оставляя на поверхности почвы слой



Инженерная экология

различных солей. В результате засоления ухудшается урожайность, а со временем земля может стать совершенно бесплодной. Соленая вода убивает корни растений, и постепенно плодородные земли превращаются в пустыню. Процесс снижения продуктивности пастбищ или пашен более чем на 10% называется *опустыниванием*.

В настоящее время в мире орошается примерно 20% пахотных земель, а к 2010 году предполагается эту площадь увеличить в два раза. От заболачивания на планете страдает около десятой части всех орошаемых земель, площадь их с каждым днем увеличивается. Таким образом, использование таких прогрессивных средств, как применение большого количества ряда удобрений и пестицидов, чрезмерное орошение может оказать неблагоприятное воздействие на свойства почв, снизить способность почвы к самоочищению.

Регламентация химического загрязнения почв устанавливается по предельно допустимым концентрациям (ПДК), которые значительно отличаются от принятых допустимых концентраций вредных веществ в воде и воздухе, попадающих в организм человека непосредственно. ПДК – это концентрация 1 мг химических веществ на 1 кг почвы в пахотном слое, которая не должна оказывать вредного прямого или косвенного влияния на окружающую среду и здоровье человека, а также на самоочищение почвы.



ЧАСТЬ III. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГЛАВА 7. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

7.1. Основные термины и определения

Предмет инженерной экологии – инженерное творчество, оно может быть признано полезным, если проекты и конструкции технических устройств предусматривают сохранение экологического равновесия и обеспечивают безопасность жизнедеятельности экологических систем. Однако многие годы технические средства разрабатывались сами по себе, без научного анализа и учета экологических стрессов и деформаций в экосистемах биосферы. И сегодня мы часто можем видеть технику, совершенно неоправданно загрязняющую, если не говорить отравляющую, окружающую природу из-за того, что при разработке этих технических средств не учитывались современные научные знания о взаимосвязи инженерных разработок с лимитирующими факторами природной среды и естественными возможностями саморегуляции экосистем биосферы.

На глазах ныне живущего поколения людей было создано великое множество машин и сложных технических устройств, прекрасных с позиции решения чисто инженерных задач. Между тем, отсутствие экологических подходов к решению технических задач привело к тому, что годами эксплуатирующаяся техника и крупные промышленные комплексы способствовали накоплению в природной среде факторов, угнетающих своими отравлениями жизнедеятельность биосферы. Все чаще стали возникать ситуации, ведущие к аномальным явлениям в природе, а также и к экологическим катастрофам. Особого внимания заслуживают такие на первый взгляд "парадоксы", когда деятельность талантливых инженеров и изобретателей приводила впоследствии к эко-



Инженерная экология

логическим бедствиям. Причина таких бедствий – отсутствие у разработчиков необходимых экологических знаний и опыта ты природы.

Один из реальных путей разрешения противоречий между развитием техники и экологией природной среды заключается, очевидно, в том, что сегодня разработчик технических средств должен обладать современным уровнем экологических знаний. В проектировании и конструировании эргономических систем возникла неотложная потребность в специалистах – инженерах-экологах, синтезирующих высокий профессионализм инженера-разработчика технических средств с опытом и знаниями эколога.

Экология как наука опирается на такие отрасли биологии, как биофизика, биохимия, генетика, физиология, а также на другие науки: физику, математику, химию, геологию, метрологию, географию и другие. На методах и понятийном аппарате этих наук основываются экологические исследования.

Взаимоотношения человека и машины в условиях промышленных предприятий, где имеют место ионизирующие, электромагнитные и шумовые излучения, перепады температурных режимов, давления, влажности, скорости движения воздуха и других характеристик среды на рабочем месте весьма многообразны. Наука о взаимодействии человека и машины получила название *эргономики* и входит в комплексную науку – *безопасность жизнедеятельности*. Эргономика тесно связана с техническими и математическими науками (кибернетикой, общей теорией системы, исследованием операций и др.) путем применения их методов для математического моделирования, анализа и оптимизации систем "человек - машина". Умение пользоваться экологическими знаниями при создании технических средств любых уровней и отраслей, обязательно для каждого специалиста. Многообразные задачи экологии как науки рассмотрены в главе книги "Краткие сведения об экологии". Но задачи экологии как учебной дисциплины в техническом вузе должны быть непосредственно связаны с тем, чтобы на основе понимания законов природы специалист мог свести к минимуму негативное влияние на природу разраба-



тываемого им объекта.

В результате тесной взаимосвязи производственных и природных процессов происходит слияние объектов хозяйственной деятельности и окружающей среды обитания человека в единые системы. Развитие этих систем происходит по сложным, во многом еще не изученным законам. Для изучения состояния окружающей среды, причин ее ухудшения и прогнозирования изменений, а также управления процессами оптимального развития таких систем сформировалась новая научная дисциплина – *промышленная экология*. Эта наука изучает единство материального промышленного производства, человека, живых организмов и среды их обитания. Есть и другие определения, которые мы рассмотрим ниже.

Задачи экологии в деятельности инженера-эколога промышленного производства или проектно-конструкторской организации можно сформулировать следующим образом:

1. Мониторинг, прогнозирование и оценка возможных негативных последствий действующих, вновь строящихся и реконструируемых предприятий для здоровья человека, среды обитания, всех живых организмов и растений.

2. Оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских разработок, исходящих из минимального ущерба окружающей среде и здоровью человека.

3. Выявление и корректировка технологических процессов, наносящих ущерб человеку и природе.

В последнее время получили распространение такие понятия, как "*инженерная экология*", "*инженерная защита окружающей среды*", "*промышленная экология*", "*техническая экология*", которые объединяет общая цель – решение проблем сохранения качества окружающей среды.

Инженерная экология – есть научная дисциплина, изучающая объективные закономерности процессов и средств системного взаимодействия человека, технических средств и природной среды с целью создания безопасных для человека и природы систем "человек – техника – среда". Существуют и другие определения, как например, под инженерной экологией понима-



Инженерная экология

ется система инженерно-технических мероприятий, направленных на сохранение качества среды в условиях растущего промышленного производства.

Таким образом, экологические задачи решаются с помощью инженерных задач, поэтому речь идет не о дифференциации экологии на новые отрасли, а об *инженерной защите окружающей среды*. Решение экологических проблем с помощью инженерных методов возможно только тогда, когда специалист владеет методологией и достаточными знаниями в экологии, иначе говоря, обладает экологическим мышлением.

Предметом инженерной экологии является система "человек – техника – среда" (ЧТС), ее исследование и оптимизация в стадии проектно-конструкторских разработок сложных эргатических комплексов. Методологическую основу инженерной экологии представляет системный подход, включающий в спектр своих исследований человеческий фактор оператора, управляющего системой (повышение эффективности, качества труда, сохранение здоровья и трудоспособности, развитие личности и удовлетворение творческих потребностей человека), и проектирование технических средств и охрану окружающей природной среды.

Проблемы инженерной экологии составляют весьма широкий круг вопросов, связанных с развитием гуманизированных, экологичных, эргатических систем. К основным проблемам относятся: анализ процессов совместимости человека, технических средств и экологических систем биосферы и других планетарных систем; анализ проектных и конструкторских задач взаимодействия человека-оператора, технического средства и окружающей природной среды, а также оптимизация распределения функций между элементами системы ЧТС; исследование деятельности человека-оператора и систем управления техническим средством; анализ конструкторских характеристик технических средств, включая комплексы управления и оборудования рабочего места оператора; исследование сложных процессов адаптации человека, управляемой техники и природной среды, а также разработка принципов и методов приспособления конструкции к возможностям человека и к функциям, обеспечивающим экологическую



чистоту данного устройства на уровне современных достижений науки и техники. Научные данные инженерной экологии внедряются в практику разработки технических средств в стадии начального проектирования, в процессе которого важное место отводится решению задач взаимной адаптации человека, техники и среды. В данном случае нас интересует экологическая сторона адаптации всех элементов системы ЧТС.

Система управления адаптивная – это система, в процессе функционирования которой происходит адаптация, направленная на улучшение качества управления.

Адаптация – процесс, имеющий большое значение в функционировании эргатической системы, определяющий эффективность работы всей системы и, что не менее важно, безопасность жизнедеятельности человека.

Адаптация (от лат. – приспособляю) – одно из уникальнейших свойств живого: приспособление организмов к условиям среды. Способность к адаптации, к саморазвитию, усовершенствованию в широко изменяющихся условиях окружающей среды при постоянном воздействии многообразных возмущающих факторов является существенным отличием всего живого от самых гениальных творений человека. В кибернетике под адаптацией понимают процесс накопления и использования информации в системе, направленный на достижение определенного состояния или поведения системы при начальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях. При адаптации могут претерпевать изменения параметры и структура системы, алгоритм функционирования, управляющие воздействия и т.п.

Перед наукой и практикой создания новой техники стоит сложная задача – проникнуть в тайны биологических процессов и использовать выработанные природой в ходе тысячелетий свойства для поиска и разработки принципиально новых технических решений. При разработке технических средств интересы социально-экономического прогресса требуют, чтобы новая техника обладала качеством "вариации структур", т.е. свойством гибкого регулирования конструкции для обеспечения высокой приспособляемости к условиям среды и возможностям организма человека.



Инженерная экология

Не менее важна также приспособляемость конструкции к выполнению регламента предельно допустимых концентраций загрязняющих выбросов в окружающую среду.

В технике все чаще появляются попытки использования принципа эффективного построения системы с определенными ограничениями на надежность. Надежное функционирование системы "человек – техника – среда" немислимо на основе жестких, неизменных или слабо регулируемых связей между ее элементами. В примерах организмов природа демонстрирует нам эффективные принципы построения систем с высокой приспособляемостью. Некоторые решения, найденные природой, могут быть применены в инженерной экологии путем использования их технических аналогов. Между тем, создание эргатических систем с высокой взаимоприспособляемостью их составных частей требует глубокого изучения механизмов адаптации и разработки теоретических принципов сложных систем с применением новейших математических методов, с использованием имитации живого организма, а при необходимости и экологической ситуации. Таковы некоторые творческие перспективы инженерной экологии.

Развитие инженерной экологии направлено на комплексное решение проблем повышения производительности труда, всестороннего и гармоничного развития личности человека и окружающей природной среды, улучшения условий и гуманизации труда человека, управляющего современной сложной техникой.

Современная самая сложная техника создается для человека, для социально-экономического развития общества. Создание наиболее благоприятных условий жизнедеятельности человека и всего живого на нашей планете сегодня является важнейшей задачей человечества.

Решать эту задачу, вместе с другими науками, помогает и инженерная экология. Изучение этой науки необходимо каждому современному инженеру и организатору производства.



7.2. Задачи инженерной экологии

Инженерная экология возникла на стыке технических и экологических наук, поэтому для нее являются характерными черты обеих. Актуальнейшей проблемой этой новой прикладной науки является преодоление узости взглядов на принципы как инженерных, так и экологических явлений.

Как экологическая наука инженерная экология исследует экологические процессы, на которые оказывают влияние современные технические устройства и производственные комплексы, изучает требования к конкретным техническим средствам и построению системы ЧТС, которые вытекают из особенностей жизнедеятельности человека и биосферы. Иначе говоря, решает задачу приспособления техники, сложных производств к естественным условиям жизни и деятельности человеческого общества и экосистем планеты.

Как техническая наука инженерная экология изучает принципы построения сложных систем, технологические процессы для изучения и выполнения требований, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности человека и биосферы. Сложные системы следует понимать как эргатические системы "человек – техника – среда", сущность которых и их роль в разработке новых технических средств рассматривается подробно в последующих главах книги. Сложность и многообразие развития технических средств и техносферы в целом порождает много проблем, в решении которых принимает участие инженер. Многие из этих проблем, вырастающие до уровня чрезвычайных экологических ситуаций, появляются в результате частных позиций, одной из которых является ориентация предпринимателя на достижение прибыли.

В ходе технического прогресса мы все лучше понимаем необходимость целостного охвата решения разных технических задач. Технические науки подошли сегодня к рубежу необходимости решения различных задач не только с позиции удовлетворения потребностей человека в общественной жизни, но и обеспечения естественных, чистых экологических условий для окру-



жающей нас природы и всего живого.

Анализ традиционных программ высших технических учебных заведений позволяет достаточно обоснованно утверждать, что в них преобладает частный подход в изучении технических проблем. В них не достаает таких общетехнических дисциплин, которые могут стать основой комплексного поиска необходимых решений. Одной из таких новых дисциплин и является инженерная экология.

Проблематика инженерной экологии может быть разделена на несколько направлений. Основные из них: методологическое, экологическое, системотехническое, эргономическое, эксплуатационное и мониторинговое.

Методологические проблемы позволяют выделить предметы в объект исследований, определить методы их изучения, установить принципы раскрытия закономерностей в исследуемой области, определить место инженерной экологии в системе наук, а также ее значение для обыкновенной практики. Методология инженерной экологии – это ее идейные позиции. Основой ее является подход, рассматриваемый в отдельном разделе книги.

Экологическое направление связано с изучением тех свойств биосферы и отдельных экосистем, а также лимитирующих факторов, которые имеют большое значение в процессе эксплуатации технических средств и производственных комплексов. Частные задачи экосистемы, лимитирующие факторы и примеры подробно будут рассмотрены ниже.

Системотехническое направление инженерной экологии связано с изучением инженерно-экологических вопросов разработки эргатических систем ЧТС. В это направление входят следующие основные группы задач:

1. Разработка инженерно-экологических принципов построения технических элементов системы ЧТС, включая разработку принципов конструирования средств защиты окружающей среды и обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

2. Инженерно-экологическое проектирование, анализ и



Инженерная экология

оценка проектируемой эргатической системы. Сюда относится распределение инженерно-экологических задач по стадиям проектирования системы.

3. Проектирование и разработка принципов и методов инженерной эргономики, оценка условий труда оператора эргатической системы, рабочего места и всего комплекса управления, анализ и проектирование деятельности оператора (группы людей), управляющего системой на разных уровнях решения задач.

Термин *системотехника* появился в 60-е годы XX века в связи с развитием автоматизированных систем управления предприятием и отраслями народного хозяйства. Системотехника в настоящее время находит применение в автоматизации проектирования, автоматизации сложных научно-экспериментальных работ, автоматизации управления производством, отраслями промышленности и систем и т.д. Системотехника является прикладной научной отраслью, теоретическую основу которой составляет общая теория (более подробно об этом см. разд.7.3.3).

4. Определение экономической эффективности и оценка социальных характеристик, а также разработка методов и критериев оценки надежности и эффективности системы ЧТС в целом.

Прогрессивное эргономическое направление инженерной экологии характеризуется изучением и учетом человеческого фактора при проектировании и эксплуатации технических систем. В настоящее время развивается инженерная эргономика* – научная дисциплина, исследующая объективные закономерности процессов и средств взаимодействия человека, техники и среды с целью приложения их к проектированию и конструированию сложных технических средств, предусматривающих повышение эффективности и качества труда, всестороннее развитие личности, защиту здоровья человека в техносфере.

* Основы инженерной эргономики и название дисциплины «Инженерная эргономика» были впервые разработаны и внедрены А.Е.Аствацатуровым в 1985г. (см. А.Е.Аствацатуров. Инженерная эргономика. – Ростов н/Д. 1985 //Инженерная эргономика машин. – Ростов н/Д. 1987 // Основы инженерной эргономики.- Ростов н/Д. 1991).



Инженерная экология

Эксплуатационное направление инженерной экологии связано с обеспечением эффективности и безопасности функционирования эргатической системы. Дело в том, что чрезвычайные ситуации, аварии и катастрофы, приносящие огромный ущерб окружающей среде и ставящие под угрозу здоровье и жизнь человека, обусловлены эксплуатационными причинами. Среди этих причин большую роль играют ошибки человека, связанные с недостатками в подготовке оператора, слабыми знаниями и навыками в управлении и безопасности обслуживания техники, плохой организацией его труда.

В задачи эксплуатационного направления входят: профессиональная подготовка операторов для работы в системе ЧТС, инженерно-экологическое обеспечение научной организации труда операторов, вопросы групповой деятельности операторов, инженерно-экологические и технологические методы повышения экологической чистоты в процессе эксплуатации технических средств.

Новейшим направлением в проблематике инженерной экологии является мониторинг, который позволяет выявлять факторы воздействия данной эргатической системы, в частности технических средств системы, на окружающую среду, производить оценку экологичности эксплуатируемых систем и влияния объектов техносферы на среду. К этим функциям мониторингового направления относится, в частности, и моделирование антропогенных загрязнений среды, связанных с работой технических средств.

Изложенная классификация задач инженерной экологии в какой-то мере условна, но она в методическом отношении удобна, так как позволяет раскрыть направления, по которым эти задачи решаются.



7.3. Методологическая основа создания средств инженерной экологии

При проектировании и конструировании технических средств защиты окружающей среды серьезным подспорьем в деле повышения качества и эффективности разработки должны служить основы философии техники.

В настоящее время философы анализируют феномен техники. Хотя существуют различные концепции техники и философии техники, есть необходимость в их методологическом осмыслении как феноменов сегодняшней культуры.

7.3.1. Философия техники и оценка экологичности инженерных средств.

Судя по тем противоречиям, которые возникли между техносферой и жизнедеятельностью биосферы, традиционная инженерия требует серьёзной корректировки. Основная проблема заключается в том, чтобы дать правильное решение задачи, отвечающей на вопрос: как использовать силы природы для человеческого общества, обеспечив одновременно безопасное развитие цивилизации, высвобождение человека из-под власти техники, улучшение качества жизни ?

Существует ещё одна проблема: как контролировать изменения, происходящие в результате современной инженерной деятельности путём проектирования технических средств и технологических процессов. Трудности заключаются в том, что большинство изменений, природных процессов не поддаются расчётам за пределами локальных зон. Например, выполнить расчёты или контролировать экологические характеристики (выбросы тепла, вредных веществ и отходов, загрязнения грунтовых и подземных вод, почвы и т.д.) регионов, а тем более континентов планеты современными средствами невозможно. В такой ситуации необходимо, с одной стороны, сводить к минимуму отрицательные



Инженерная экология

последствия инженерной деятельности, а с другой – интенсивно развивать уровень современных технологий инженерной защиты окружающей среды. Необходимо отказаться от создания технических средств, последствия воздействия которых на природу невозможно точно прогнозировать, и которые могут вести к экологическим и антропологическим катастрофам.

Современная инженерия и техника предполагает новую картину мира, которая не может строиться на идее свободного, бесконтрольного использования природных ресурсов.

Философия техники как отдельная дисциплина читается в вузах США, Франции, Англии, в России, в частности в Институте философии РАН студентам преподают курс «Философия науки и техники». В области философии техники получены определенные знания и формируются различные понятия, требующие очередного осмысления возникающих проблем и выработки новых путей развития.

В центре внимания исследователей в области философии техники находятся основные методологические проблемы: соотношение науки и техники, естествознания и технических наук, развитие фундаментальных исследований в современных технических науках и, в частности, в инженерной экологии; проблемы историко-культурного понимания сущности техники, социальной и гуманитарной оценки инженерной деятельности и ее экологических и других последствий. Это направление характеризуется стремлением к оптимистическому осмыслению и разрешению проблем, порожденных развитием новой техники, направленной на защиту окружающей среды с самых рационалистических и гуманистических позиций.

Главная задача философии техники – это исследование технического отношения человека к миру, т.е. технического миропонимания. Философия техники с самого своего возникновения ориентирована на гуманизацию техники.

Методологической основой проектирования и конструирования технических средств защиты окружающей среды является системный подход, закладывающий общий теоретический фунда-



мент под такие, ранее разобщенные технические дисциплины, как детали машин, теория машин и механизмов, основы конструирования. Особое место в системном подходе отводится информации. Поток информации сделался фактором, значение которого все еще не понято до конца и не оценено надлежащим образом. Это касается, прежде всего, техносферы, т.е. совокупности технических средств, в настоящее время представляющей собой существенный элемент мира.

Человек, биосфера и техносфера образуют в совокупности экосферу, которая во все большей степени превращается в замкнутый комплекс. Эта замкнутость требует от нас осуществлять поиск философских и технических решений, направленных на возможно более полное замыкание круговорота материи, что, в свою очередь, уменьшает опасное рассеивание отходов и снижает возможность катастрофы нашей цивилизации.

7.3.2. Философский подход к проектированию природозащитной техники*

Традиционные методы часто становятся тормозом и задерживают развитие науки технического творчества. Вокруг нас становится все больше инженеров, которые начинают замечать трудности в своей творческой работе именно тогда, когда ограничиваются традиционными методами.

Человек создан для творчества. Этот тезис должен стать основополагающим для проектировщика и конструктора. Творчество требует от специалиста, в частности инженера-эколога, познавательной позиции, которая должна основываться на сознательной открытости потоку информации и всему, что может питать и развивать это творчество. Человек представляет собой важный элемент социально-космического глобального комплекса. Именно в человеке происходит многосложное преобразование информации от ее принятия и накопления, переработки и выдачи

* В соавторстве с доцентом М.А.Басилаиа.



Инженерная экология

в процессе творческой деятельности. И для того, чтобы эффективно связать знания о том, что существует, с тем, что должно быть создано, мышление проектировщика должно быть открытым для потока информации.

Сегодня в потоке быстро происходящих изменений в сфере развития технических средств резко проявляется потребность развития общетехнических дисциплин, среди которых важное место занимает наука технического творчества – проектирование и конструирование эргатических систем.

Наука технического творчества есть рациональная основа проектирования и конструирования. По существу, само техническое творчество состоит из проектирования и конструирования. Понятно, что знание методологии технического творчества представляет собой интерес для разработчиков технических средств.

Методология творческой технической деятельности содержит:

1. Описание творческой деятельности с выделением операций, составляющих проектирование и конструирование.
2. Методы творческой деятельности.

Поскольку наука технического творчества на сегодняшний день находится еще на начальной стадии развития, точность определения существующих понятий различна. Любой метод претерпевает влияние субъективных факторов разработчика. Ведь всякий метод есть единство объективного и субъективного, так как в нем обычно сочетаются объективные закономерности и выработанные на основе профессионального опыта субъективные приемы исследований. Поэтому в техническом творчестве приемы целесообразной организации деятельности специалиста во многом зависят от его личности, знаний и опыта. Однако в 60-е годы начала развиваться новая наука - праксеология, изучающая целесообразность организации любой человеческой деятельности независимо от ее назначения. Польский философ Т. Котарбинский, родоначальник праксеологии – социологической науки, в известном труде "Трактат о хорошей работе" (1955) говорит, что во все



Инженерная экология

более усложняющемся процессе труда наступает такое явление, которое он называет "минимализацией интервенции", то есть уменьшением физического вмешательства человека в процесс производства.

Знаменательно, что идея рационализации практической деятельности и понятие «Конструктивное действие в процессе технического творчества» нашла поддержку в "Трактате о хорошей работе".

Разнообразии методов проектирования и конструирования. ***Техносфера в последнее время приобретает все большее значение в жизни людей. Разработка и изготовление технических средств и сложных эргатических систем, необходимых обществу, становятся все более сложной задачей. Вместе с тем, все больше и острее проявляются экологические проблемы. Одной из причин возникающих сложностей является частный подход к проектированию. Этот подход определяется критериями, вытекающими из частных, а иногда и антисоциальных интересов. Основой же системного проектирования являются критерии, принятые с позиции соблюдения социальных интересов общества.***

Системное проектирование – это творческая деятельность по созданию технических средств как фактора оптимизации техносферы, в которую входит техническое средство. В свою очередь, техническая деятельность характеризуется взаимным переплетением различных проектных операций.

Практика показывает, что попытки формализации деятельности проектировщиков и конструкторов и навязывание им строгой пооперационной программы (то, что хорошо применимо к ЭВМ) не приносят положительных результатов. Гораздо более эффективно стремление уподобить действия вычислительной техники действию нашего мозга, а не наоборот.

Методы проектирования и конструирования зависят от многообразных ситуаций в процессе творческого проектирования. Поэтому целесообразно не практиковать применение одного ме-



тогда как основного. В процессе разработок с самой ранней стадии проектирования полезнее и удобнее использовать разнообразные методы как одно из условий развития.

7.3.3. Методология исследования системы

Любой сознательный научный поиск всегда базируется на определенных философских предпосылках. И инженерная экология, к которой мы обращаемся в процессе исследования, так или иначе, затрагивает вопросы, относящиеся к категории философских.

Обострение экологической обстановки на всей планете придает особую значимость философской, методологической основе проблемы взаимодействия человека, техносферы и природной среды. В изучении проблем системы ЧТС наблюдается тенденция к переходу от локальных исследований ее частей к их целостному системному философскому толкованию.

В настоящее время наиболее прогрессирующим методом изучения экологической проблемы является метод экологического компьютерного моделирования. В этой связи большое значение имеет разработка методологических принципов решения экологической проблемы, а также ее имитационного и оптимизационного моделирования. Важной гносеологической и гуманистической особенностью системно-экологических моделей является познание возможных опасностей, связанных с изменениями, вносимыми техникой в биосферу. Речь идет об изменениях в биосфере, связанных с ее антропогенными загрязнениями, несущими вред всему живому на планете.

Методологическую основу инженерной экологии образует системный подход, изучающий весь спектр факторов, входящих в эргатическую систему ЧТС. Инженерная экология, как уже отмечалось, ставит своей целью оптимизацию технических средств и процессов производства, условий труда и жизнедеятельности человека, а также окружающей его природной среды и техносферы.

Понятие "проектирование и разработка системы" в на-



стоящее время широко используется многими отраслями промышленности, разрабатывающими и поставляющими сложную техническую продукцию.

Системный подход связывают с развитием направлений построения и изучения формальных и абстрактных систем и систем общей теории. Системный подход в научном плане опирается на законы взаимосвязи и взаимообусловленности в мире и обществе. При этом должно соблюдаться требование – рассматривать изучаемые явления и объекты не только как систему совершенно самостоятельную, но и как подсистему некоторой большой системы. Это положение легче воспринимается при рассмотрении эргатической системы, ее структуры и принципов построения.

При использовании системного подхода следует учесть, что принимать решение при небольшом числе факторов системы опасно. По этому поводу специалисты, изучающие проблемы и трудности системного подхода, предостерегают от допущения ошибок и получения неверных результатов. При высокой степени специализации и координации и глубокой интегрированности производственных, информационных и социальных процессов были случаи, когда принимались неэффективные и социально опасные решения не преднамеренно, а из-за недостаточности информации для принятия правильных решений (перестройка структуры управления хозяйством, загрязнение атмосферы, гидросферы и т.д.). Системный подход в этом аспекте подчеркивает необходимость прежде всего учитывать социально-экономические, экологические и прочие факторы, особенно при создании или изменении организационных систем (Блауберг И. В. и др. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М, 1969.)

Отсюда вытекает важность понимания того, что система - это не просто объединение некоторых элементов и составных частей. Системный подход требует изучения, отбора и прослеживания как можно большего числа связей, внутренних и внешних. Не упустить действительно существенные связи и факторы и своевременно оценить их эффекты – это одно из важных требований при системном подходе.

Примером несистемного подхода является абсолютизация



Инженерная экология

роли техники в решении проблемы охраны окружающей природной среды. Подчас высказываются предположения, что охрана окружающей среды в современных условиях – проблема в основном техническая. В оправдание такой позиции приводят особую роль техники в создании малоотходных технологий, замкнутых циклов производства, использование технических средств для очистки атмосферы от пыли и промышленных газов, очистки сточных вод, рекуперации, регенерации и утилизации отходов производства. Такие технические меры, вне всякого сомнения, имеют большое значение. Но в общем плане экологическая проблема не техническая, а комплексная (политическая, социологическая, биологическая, психологическая и т.д.) и в то же время - системная. Практически системный подход представляет собой системный охват различных элементов, системные представления, системную организацию исследований. Системный охват предполагает изучение проблемы и подход к ней с разных сторон. Это зачастую требует участия в разработке системы различных специалистов: инженеров, экологов, эргономистов, инженеров-психологов и многих других. Системное представление – это построение единой модели изучаемых явлений и объектов. Она может быть либо реализованной технически, либо - как натурный эксперимент. Системная организация требует непрерывного планирования и управления разработкой с использованием современных методов координации работ, какими являются, например, программное управление и сетевое планирование.

Инженер-эколог имеет дело с проектированием, как правило, сложной эргатической системы, разработка которой должна быть организованным процессом. Прежде всего, следует определиться с понятием системы "человек – техника – среда" и всем, что связано с ним.

Концепция системы. Система "человек – техника – среда" по сути - абстракция, внефизическая конструкция или какой-то вид организации. Это, прежде всего, структура, включающая в себя составные элементы, которые также представляют собой системы (подсистемы). Система ЧТС представляет собой концепцию, потому что она связана с ненаблюдаемыми изменениями



Инженерная экология

(входных сигналов в выходные). Наблюдать можно только результаты преобразований. В антропотехнической системе "человек – машина" или в еще более сложной антропотехноэкологической системе "человек – техника – среда" то, что происходит внутри этих систем, мы можем знать по предшествующим входным и последующим выходным характеристикам. Отметим особо, что во всех указанных системах особую (главенствующую) роль играет информационная система, включающая получение, хранение и переработку информации. Поэтому большое значение в системе имеет человеческая память. Существуют различные определения систем, однако все они носят общий характер. Попытка дать более строгое определение системе может обрести смысл только тогда, когда известна конкретная система. По этому поводу весьма ценными являются высказывания и определения крупных ученых, изучающих системные подходы. Общим элементом для всех определений антропотехнической системы, считает Д. Мейстер (1979), является понятие целенаправленности. Система представляет собой искусственное образование, поэтому ее характеристики зависят от цели, поставленной разработчиком. Аналогом же целей человека может служить определенная совокупность требований к системе. На основе этих требований можно воссоздать конфигурацию системы, а также ее функции и операции. Рассматриваемые нами системы отличаются тем, что имеют возможность обеспечения связи с внешней средой с помощью электронного или механического интерфейса (средства сопряжения), дающего возможность умножить количество типов преобразований, а также значительно расширить окружающую человека среду.

Не углубляясь далее в разбор более широкого понятия системы, учитывая, что структура, проектирование, анализ и оценка рассматриваются в следующей главе, обратим внимание лишь на выделенное выше определение системы. Оно отражает свойства любых эргатических систем, в которых реализуются сложные преобразующие действия (человека-оператора, технического средства, экологической системы), например, действия логические и математические.



7.4. Принципы инженерной экологии

При решении задач инженерной экологии используются различные методологические принципы, выполнение которых на практике помогает повысить эффективность инженерно-экологических исследований. К основным из них относят следующие.

Принцип комплексности. Использование этого принципа связано с необходимостью развития междисциплинарных связей инженерной экологии, взаимодействия ее с другими науками о человеке, технике и окружающей природной среде. Этот принцип опирается на данные информационного воздействия всех компонентов системы и тщательное изучение и применение других функциональных особенностей систем, в частности, антропометрических, экологических, физиологических, гигиенических, психологических, технических, биологических и т.п. Основой для практической реализации этого принципа является системный подход.

Принцип гуманизации труда. Этот принцип исходит из требований, предъявляемых человеком к технике и организации труда, и учитывает такие важнейшие практические стороны процессов труда, как повышение производительности, качества и эффективности труда, а также творческую роль человека в процессе труда.

Принцип экологичности техники. Согласно этому принципу выполнение инженерно-экологических требований не должно представлять одноразовое мероприятие по созданию проекта экологически совершенного (чистого) технического средства, а должно быть обеспечено на всех этапах существования данной системы: проектирования, производства и эксплуатации. Это позволяет разработать и внедрить единое инженерно-экологическое обеспечение системы ЧТС на всех этапах ее создания и эксплуатации.

Принцип конструкции технического средства. Тра-



диционно комплекс принципов конструкции включает принципы оптимального нагружения, оптимального материала, стабильности, оптимальных соотношений взаимосвязанных величин. Но на современном этапе техносферы этого недостаточно. Принцип конструкции относится к существенным свойствам и особенностям технического средства. Одним из главенствующих особенностей конструкции должно быть обеспечение, с одной стороны, безопасности жизнедеятельности человека, с другой - полное соответствие современным нормам и требованиям экологичности изделия. Любая конструкция в какой-то мере - следствие знаний конструктора и его отношения к реальной действительности. Человек создает все то, что мы называем техносферой. Однако слишком часто нам приходится удивляться тому, что возникло при нашем же участии. Отсюда вытекает еще одно существенное свойство принципа конструкции – необходимость исследовательского подхода к конструкции технических средств, входящих в эргатическую систему. Такой подход дает ключ к своевременному устранению всякой случайности в процессе создания новой техники.

Принцип ответственности за новое техническое средство. Техническое средство осуществляет всевозможные воздействия на техносферу и биосферу на основе энергии, информации. В том случае, когда разработчик не учитывает возможные последствия существования создаваемого им технического средства, его воздействия на окружающую среду, возникает угроза для биосферы. Примером такой деятельности может служить частное предпринимательство, ускользающее из-под госконтроля. Обеспечение высоких знаний, профессионального опыта, кругозора, высокой ответственности и добросовестности отражают суть требований принципа ответственности за новое техническое средство, имеющее социальное значение. Этот принцип отражает главные качества инженера-эколога.

Принцип эмерджентности. **Содержание современной экологии можно определить, исходя из концепции уровней организации, составляющих биологический спектр: сообщество, популяция, организм, орган, клетка и ген,**



представляющие основные уровни организации жизни. Эти уровни располагаются ступенчатым рядом – иерархией, каждая ступень которой характеризуется своей функциональной системой, возникающей в результате взаимодействия той или иной ступени с окружающей физической средой. Поскольку каждый уровень в спектре биосистемы интегрирован, т.е. взаимосвязан со смежными или другими уровнями, постольку здесь не может быть строгих границ, разделяющих эти уровни или ступени. Например, сообщество теряет свою жизнеспособность и прекращает существование, если отсутствует круговорот веществ и энергия не поступает в это сообщество. Организм не проживет долго, будучи изолирован от популяции, точно так же, как отдельный орган не может жить без своего организма.

Характерной особенностью иерархической организации является то, что объединение различных составляющих биологических уровней в новые функциональные единицы приводит к возникновению у этих единиц *качественно новых, эмерджентных*, свойств. Новые единицы, возникшие при объединении разных составляющих, проявляют свойства, отсутствовавшие на предыдущем уровне. Эмерджентные свойства можно выразить через понятие о несводимых свойствах, смысл которого заключается в том, что свойства целого не могут быть представлены в виде суммы свойств его частей. Этот принцип несводимости свойств целого к сумме свойств его частей – *принцип эмерджентности* - служит одной из основных заповедей специалиста, инженера-эколога.

Приведем примеры принципа эмерджентности. Соединение водорода и кислорода в определенной пропорции образует воду, жидкость, обладающую совершенно новыми свойствами, непохожими на свойства составляющих газов. Эмерджентные свойства воды характерны только для этой жидкости – вещества нового уровня. Другой пример – некоторые водоросли и кишечнополостные животные в процессе совместной эволюции образуют систему кораллового рифа. Появляется рациональный меха-



низ круговорота элементов питания, позволяющий этой новой системе поддерживать высокую продуктивность в водоемах с низким содержанием этих элементов. Эти эмерджентные свойства принадлежат только лишь уровню рифового сообщества.

Каждый из уровней биосистемы отличается свойствами, присущими только ему, и еще обладает суммой свойств, входящих в него составляющих. Иллюстрируя на примерах принцип эмерджентности и известное в биологии понятие о несводимости свойств целого к сумме свойств его частей, следует подчеркнуть, что знание этого принципа обязательно для инженера-эколога.

Современная техника позволяет на высоком уровне изучать большие сложные системы, включая экосистемы. Совершенными инструментами для этого сегодня служат автоматический мониторинг, математическое моделирование, компьютерная техника, новые физико-химические методы, такие, как спектрометрия, колориметрия, хроматография. Первостепенной задачей инженера-эколога является использование техники в качестве средства изучения гармонического взаимодействия человека и природы, недопущения использования знаний и самой техники как средства противопоставления общества и природной среды, ведущего, в конечном счете, к уничтожению цивилизации.

7.5. Методы инженерной экологии

Метод (греч. *methodos* – путь, способ исследования, обучения, изложения) – система правил и приемов подхода к изучению процессов и закономерностей природы, общества и мышления. В инженерной экологии метод используется как прием теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь исходя из знаний закономерностей развития объективной действительности и исследуемого предмета, системы, процесса.

Методы, будучи рациональной основой способа действия, как и все в этом мире, совершенствуются, меняются и отживают свой век, уступая место другим, более новым, прогрессивным и рациональным методам.



Научный метод. Независимо от объекта исследований, научные исследования имеют общие черты. При создании системы ЧТС, естественно, разработчик стремится к порядку в действиях, а это ведет к использованию приемов, соответствующих научному методу. Как знать, возможно, многие из нас в своей профессиональной деятельности, стремясь к творчеству, не раз подсознательно шли путями правил научного метода. Хотя это и не исключает риска в творческом созидании.

Общие черты любого научного исследования наглядно показаны в модели использования научного метода Я. Дитриха. Модель показывает единый путь во всех научных исследованиях, который определяется циклическим использованием в определенной последовательности процесса, опирающегося на рациональный метод логического рода: наблюдение – гипотеза – эксперимент – теория (рис.7.1) и далее, новые теории, раскрывая новые пласты знаний, формируют новые наблюдения и цикл вновь и вновь повторяется.

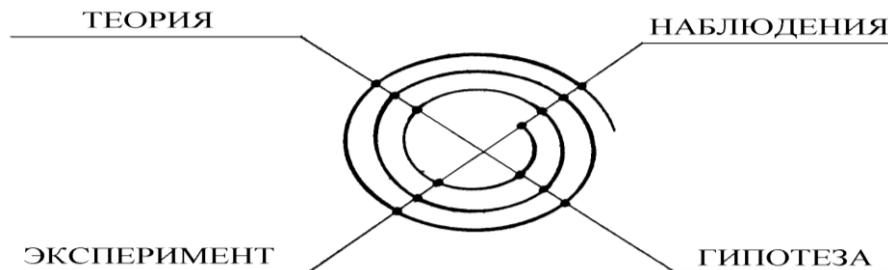


Рис.7.1. Модель процесса, проводимого на основе научного метода

Модель процесса, соответствующего правилам научного метода, представлена в виде спирали – символа развития. Деятельность разработчика системы “человек – техника – среда”, как и творчество в любой отрасли, расширяет наш кругозор, открывая новые проблемы неизвестного.

Модели процесса, проводимого на основе научного метода, предшествует какая-либо потребность, которая возбуждает упорядоченное наблюдение. Исходя из цели исследования, вы-



Инженерная экология

двигается гипотеза (утверждение или предположение, тормозимые нехваткой знаний), которая используется в качестве методической основы для проведения эксперимента. Здесь исследователь получает возможность соизмерять положения гипотезы с результатами эксперимента. Наконец, эксперимент позволяет сделать умозаключение о свойствах гипотезы. В том случае, когда результаты эксперимента подтверждают гипотезу – налицо новое звено теории. В этом суть модели процесса, проводимого по правилам научного метода.

Системный подход, используемый как методологическая основа для инженерной экологии, требует применения широкого спектра методов, учитывающих многомерный и многоуровневый характер системы ЧТС. Основной целью этих методов является полное изучение функций всех компонентов системы. Поэтому в большом разнообразии методов и отдельных методик, связанных с антропологическими, психофизиологическими, техническими, кибернетическими, математическими и другими исследованиями, мы можем видеть как фундаментальные дисциплины, направленные на выявление в первую очередь информационных процессов в эргатической системе, так и инженерно-экологические знания, получаемые при испытании с целью оценки экологической чистоты и эргономичности.

Для правильного понимания и использования методов, применяемых в инженерной экологии, нужна прежде всего их классификация. В основу такой классификации целесообразно положить способы получения данных о деятельности человека-оператора, работе технического устройства и изменения экологических характеристик среды. При таком подходе удобно выделить методы: проектно-конструкторские (с использованием достижений науки технического творчества), экологического мониторинга, изучения экосистем, эргономические, математические, имитационные и кибернетические.

Проектно-конструкторские принципы и методы. Задачи проектирования систем. ***Современные темпы развития технических средств, рост сложности и разнообразия техносферы ставят перед инженером множество трудно-***



стей. Задача конструктора состоит в создании техники, которая будет полностью отвечать современным требованиям индустрии: давать наибольший экономический эффект и обладать высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями. Но этим задачи не исчерпываются. Инженеру-разработчику системы "человек – техника – среда" предстоит решать задачи, возрастающие до уровня экологических проблем, когда создаваемая им техника, загрязняя природу, будет нарушать нормальную жизнедеятельность экологических систем. Природа, в свою очередь, оборачивает наносимые ей экологические стрессы острием к человеку, в конечном счете, ставя под угрозу жизнедеятельность общества.

Можно показать, что многие трудности творчества инженера сегодня вытекают из частных подходов, один из которых заключается в ориентации предпринимателя на достижение прибыли. Перед нами стоит задача преодоления узости взглядов на предметы и явления. Не следует допускать преобладания частного подхода в изучении технических проблем. Сегодня необходимость целостного охвата многообразных технических задач приобретает особую актуальность, мы все лучше понимаем, что создание сложных технических средств связано с учетом безопасной жизнедеятельности человека и экосистем, понимаем и то, что сущность создания таких систем (человек – техника – среда) заключается в удовлетворении человеческих потребностей в условиях общественной жизни. Основой создания системы ЧТС должен стать комплексный поиск необходимых решений конструкторских задач.

Объектом проектирования является система, тогда как объектом конструирования становится конструкция разрабатываемого изделия. Единство целей и действий в отношении проектов и изделий привело к необходимости иметь средства общения между инженерами. Этим средством является всевозможного рода проектная и конструкторская документация, строго разграниченная по стадиям разработки.

Теоретические аспекты моделей различных стадий



разработок рассматриваются в специальной литературе.

7.6. Связь инженерной экологии с другими науками

Инженерная экология развивается в тесной взаимосвязи с другими фундаментальными и прикладными науками.

Любая ветвь науки способна распасться на множество самостоятельных отраслей. Из любой отрасли перед нами открывается необъятность. С увеличением в арифметической пропорции горизонтов известного увеличиваются и горизонты неизвестного, но в геометрической пропорции. "Наше знание определяется отношением к нашему незнанию: прогресс углубляет бездну незнания..." – писал А. Белый в 1910 году. Однако есть существенные детали, которые в этих справедливых замечаниях не учтены.

Наука – это всегда знание, даже там, где она раскрывает нам бездны незнания. Без этого не было бы стремительного развития мысли. А. Эйнштейн считал одним из главных побуждений к творчеству – ощущение тайны. "Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека – это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне, если не мертвецом, то во всяком случае слепым... Я довольствуюсь тем, что с изумлением строю догадки об этих тайнах и смиренно пытаюсь мысленно создать далеко не полную картину совершенной структуры всего сущего". Он признавал величайшей радостью "...воспринимать то непостижимое для нашего разума, что скрыто под непосредственными переживаниями, чья красота и совершенство доходят до нас лишь в виде косвенного слабого отзвука" (см. Баландин Р.К., 1973, с.218).

Однако вернемся к знаниям и еще непознанным явлениям, связанным с инженерной экологией.

Развитие прикладной науки, инженерной экологии, происходит прежде всего во взаимной связи с экологической наукой в целом и, разумеется, всего комплекса инженерных наук. Без такой связи развитие инженерной экологии невозможно. С одной



Инженерная экология

стороны, инженерная экология использует научные данные, а с другой – инженерно-экологические знания влияют на широкий круг отраслей экологической науки. В результате этого в инженерной экологии вскрываются внутренние связи между компонентами изучаемых систем "человек – техника – среда" с их качественной и количественной оценкой.

Изучая процессы информационного взаимодействия человека, техники и окружающей природной среды, инженерная экология опирается на методологический принцип – системный подход, на теоретические концепции, разработанные в общей теоретической экологии, с одной стороны, и теоретические основы инженерных наук, ставших фундаментом проектирования и конструирования сложных технических устройств, - с другой. Однако следует отметить, что инженерная экология рассматривает все эти проблемы в плане деятельности человека-оператора (или группы людей), управляющего сложными техническими устройствами или их комплексами, во взаимосвязи с окружающей природной средой.

В современных условиях важной тенденцией развития научного знания стала интеграция наук, изучающих различные проблемы деятельности сложных систем на основе комплексных подходов. Среди таких научно-практических комплексов, составляющих интересы инженерной экологии, является инженерная эргономика, изучающая объективные закономерности процессов и средств взаимодействия человека, техники и среды с целью приложения их к проектированию и конструированию эргатических систем.

В инженерно-эргономический комплекс входят физиология и гигиена труда, антропометрия, биомеханика, проектирование и конструирование технических средств, техническая эстетика, дизайн и другие дисциплины, круг которых пока еще окончательно точно не определен.

Инженерная экология имеет тесную связь с экономикой, организацией труда, социологией, социальной экологией и рядом других дисциплин, изучающих социотехнические системы, на основе которых зарождается новый научный комплекс – наука



Инженерная экология

управления. Основным направлением в этих вопросах должно быть глубокое изучение механизмов управленческих процессов, структур и управленческой деятельности в целом в тесной взаимосвязи и с учетом человеческих факторов и состояния экологических систем.

Инженерная экология связана также с кибернетикой и системотехникой. Кибернетика изучает общие законы получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах. Значение кибернетики для инженерной экологии заключается в том, что она открывает возможности изучения и описания с единых системных позиций таких качественно разнородных компонентов системы ЧТС, какими являются человек, техническое средство и экологическая система. Вместе с тем, нельзя не учитывать специфичность каждого из компонентов: человека, подчиняющегося психофизиологическим и биологическим законам, техники, подчиняющейся физическим и химическим законам, и экологии, подчиняющейся физическим, химическим и биологическим законам. Напомним, что при изучении инженерной экологии рассмотрение человека, техники и природной среды является абстрактно-искусственным методом, не более чем методическим приемом, дающим возможность рассматривать различные составляющие системы ЧТС во взаимосвязи и совместном действии.

Системотехника – новое научное направление, это техническая наука об общих принципах разработки, совершенствования и использования технических систем. Разумеется, системотехническое проектирование широко использует принципы и методы инженерной эргономики, учитывающей характеристики человеческого фактора в человеко-машинных системах.

В инженерной экологии широко используются математические методы, в частности, при изучении деятельности человека-оператора или для построения моделей экосистем, планирования и обработки данных динамики состояния экосистем в условиях антропогенных загрязнений, при получении различных количественных характеристик и соотношений параметров технических средств в стадии их проектирования и конструирования.



Особой темой научно-технического применения инженерной экологии являются работы, связанные с созданием космических эргатических систем. Исследование космических пространств – передний край сегодняшней науки – имеет прямое отношение к основам инженерной экологии. Решение прикладных задач создания космических ракет, межпланетных станций, равно как глубоководных океанских технических устройств, т.е. различных эргатических систем, требует дальнейшего развития инженерной экологии. Тем более, что сегодня уже можно говорить о реальном переходе от чистого исследования космического пространства к его освоению человечеством, начатому несколько десятилетий назад в нашей стране российскими учеными и инженерами. Интересно вспомнить, что об этом говорят ученые-фантасты, соединяя научную ответственность с художественной проницательностью. В прогностической таблице английского ученого и писателя-фантаста Артура Кларка, увидевшей свет в 60-х годах, на 2060 год прогнозируется "разрушение пространства-времени", подразумевающее, по всей вероятности, овладение контролем над пространственно-временным континуумом. Ближайшие прогнозы Кларка на 70-е годы – "космическая лаборатория, посадка на Луну" - стали фактом. Далее А. Кларк прогнозирует в 2020 году "межзвездный зонд", а "межзвездный полет" - на 2070 год. В 2050-2060 годах этому сопутствует "планетная инженерия", а с 2090 года - "астроинженерия", которые опережает в 2020-2030 годах "космическая геология".

Прогноз А. Кларка совмещает на 2000 год "колонизацию планет" и "освоение морского дна", или на 2010-й "путешествие к центру Земли" с "контролем погоды". "Контроль над климатом" прогнозируется на 2070 год одновременно с "околосветными скоростями" и "искусственной жизнью", а "передача материалов" в 2090 г. – с "бессмертием".

В части духовных ресурсов человечества Кларк считает: уже в 2000 году за "искусственным разумом" будет создана "всемирная библиотека", в 2010-м – "телепатические устройства" и "логический интеллектуальный потенциал человечества". Изучение измерений гравитационной постоянной русским ученым про-



Инженерная экология

фессором А. А. Силиным прокладывает канал связи к предсказанному Кларком контролю над "гравитационными волнами".

Вернемся к вопросу о взаимной связи инженерной экологии с другими науками. В последние годы наметилось усиление связи инженерной экологии с экономикой, открывающее огромные резервы роста производительности труда и эффективности производства.

Какое же место занимает инженерная экология в системе подготовки современного инженера?

Изучение инженерной экологии опирается на некоторые разделы, как уже было отмечено, фундаментальных и прикладных дисциплин. Знания из области физики, химии и биологии необходимы при проведении инженерно-экологических исследований и экспериментов. Математические знания нужны при изучении количественных характеристик экосистем, а в эргатических системах - также при изучении деятельности человека-оператора. Общая теория надежности помогает изучать надежность оператора и эргатической системы "человек – техника – среда". Знание возможностей и принципов построения ЭВМ позволяет изучать вопросы распределения функций между человеком и машиной и моделирования экологической ситуации, деятельности оператора и всей системы в целом.

Инженерная экология в учебных программах технического университета является базой для изучения таких дисциплин по профилю подготовки студентов, как конструирование машин, станков, агрегатов, приборов и другого технического оборудования, эксплуатация технических средств, охрана окружающей среды, экономика и организация промышленного производства, инженерная эргономика и др.

Полноценная инженерная деятельность в наше время может быть обеспечена лишь на базе широкого образования, включающего не только фундаментальную математическую, прикладную, но и столь же основательную методологическую подготовку в области техники и технических наук.



ГЛАВА 8. ЧЕЛОВЕК В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

8.1. Роль человека в решении экологических задач

Развитие техники в процессе научно-технического прогресса текущего столетия привело к появлению огромного разнообразия машин и оборудования, используемых в промышленности, на транспорте, в строительстве, сельском хозяйстве, геологии, медицине, научных исследованиях, а также в военных целях. С увеличением мощности техники возрастала сложность управления машинами и загрязнение природной среды. Стали возникать новые технические задачи, решение которых требует научного понимания того, как ведут себя люди в сложных системах управления техникой и какие ситуации могут быть в экосистемах биосферы в связи с все возрастающим их загрязнением антропогенными выбросами. Главной целью решения задач подобного рода было обеспечение безопасности жизнедеятельности человека и экосистем. Сохранение жизнедеятельности и работоспособности человека, по существу, означает, что организм способен адекватно выполнять весь комплекс кибернетических и метаболических функций. В чем же состоят эти функции? Информационно-кибернетические функции предполагают: а) восприятие важнейших факторов внешней среды; б) поиск и выбор оптимальных форм поведения в соответствии со средой и в) выполнение их. Метаболические (от греч. *metabole* - перемена, обмен веществ в организмах) функции состоят в том, чтобы предоставить организму необходимые вещества и энергию, а также поддерживать целостность всех структур организма.

Раньше большинство задач, связанных с присутствием человека в технических системах, а также решение проблем изготовления и применения технических средств, их согласование со свойствами организма как управляющего органа осуществлялись эмпирически. Оператору приходилось приспосабливаться к



Инженерная экология

системам управления часто за счет преждевременного утомления, ошибок, а иногда и травм, что совершенно недопустимо в эргатических системах. Так возникла необходимость учитывать человеческий фактор при разработке систем, включающих взаимодействия человека и техники. Научное направление, изучающее влияние человеческого фактора (психофизиологии, антропометрии оператора) на производительность системы "человек - техника - среда", появилось в последние десятилетия и получило название эргономики. Вместе с проблемой определения поведения человека-оператора в проектируемой системе возникла не менее важная проблема - установить, как будет влиять разрабатываемое техническое средство на окружающую среду и жизнедеятельность экологических систем. Прогнозирование поведения человека-оператора, а также загрязнений природной среды необходимо вести методами, совместными с описанием действия машины, т.е. моделировать и прогнозировать поведение оператора и загрязнение окружающей среды как компонент системы "человек - техника - среда". Применение подобных моделей несколько ограничено по той причине, что методы, например, используемые для описания действия человека, не охватывают действительного разнообразия его действий. Поэтому, чтобы приносить пользу, моделирование не обязательно должно предоставлять точные и подробные прогнозы. Если модели помогают инженеру осмыслить поведение людей и степень загрязнения окружающей среды и дают возможность выделить существенные факторы и разработать эксперимент или модель для решения насущных проблем, это уже полезные модели. Такое моделирование полезно и имеет большое значение для процесса обучения, а также в практической деятельности.

Взаимодействие систем организма и различных технических средств можно наблюдать повседневно во всех областях современной жизни. В общем случае все такие комплексы являются *биотехническими* и конструктор-разработчик технических средств должен согласовывать их характеристики с биологическими потребностями человека. Важнейшими проблемами систем "человек - техника" становятся проблемы охраны экологической среды от



губительных последствий промышленного производства. В любом случае проектирование техники, выполнение гигиенических и эргономических требований (для обеспечения условий обитания человека) и экологических нормативов (для защиты среды) является обязательным условием оптимального решения задач конструирования. Отсюда вытекает необходимость проектирования и разработки систем, в которые входят как компоненты человек, технические средства и окружающая среда. Понятие "проектирование и разработка эргатических систем" в современном мире широко используется многими отраслями промышленности, в том числе в самолетостроении, кораблестроении, при строительстве космической техники, военными учреждениями и поставщиками военной продукции.

8.2. Человек - управляющее звено системы "человек – техника"

Систему "человек – техника" можно представить как частный случай любой системы организованного воздействия на окружающую среду. Признаком организованного воздействия служит присутствие конкретной программы, нацеленной на выполнение определенных задач. При этом человек, звено системы, в каком-то отношении сходен с техническим звеном. Техническое звено, скажем, машина или сложный агрегат, в условиях перегрузки так или иначе оказывается в аварийном положении с вытекающим из этого отказом в работе. Представим теперь, что человек управляет самолетом. При ручном управлении, например, могут возникнуть обстоятельства, требующие отвлечения внимания летчика от систем управления, допустим, внезапное ухудшение погоды, неполадка в бортовых системах и материальной части самолета и т. д. В таких условиях неизбежно начинает снижаться точность ручного выдерживания заданной траектории и самолет может оказаться в чрезвычайной аварийной ситуации. Усложнение обстановки полета приводит к увеличению количества выполняемых летчиком одновременно операций управления.



Инженерная экология

Это требует дополнительных энергозатрат организма, что при определенных условиях ведет к ошибкам, а в случае значительных перегрузок происходит отказ. Как видим, и в первом, и во втором случае в результате перегрузки звена системы происходит отказ, что совершенно не допустимо.

Рассмотрим взаимодействие человека и машины на примере работы оператора самоходных машин, эксплуатируемых в различных отраслях промышленности.

Оператор машины, руководствуясь информацией (сигналы, подаваемые индикаторами в кабине, визуальное наблюдение за участком работы и всего окружения), управляет машиной, воздействуя на органы управления. Одновременно человек реагирует на значительный комплекс внешних факторов. К ним относятся: шум, создаваемый при работе двигателя и механизмов машины, вибрация и толчки на рабочем месте, сигналы обратной связи, поступающие к машинам оператора от рулевого управления, рычагов и педалей, звуковые сигналы систем контроля и управления, сигнализирующие об отклонении от нормального режима работы механизмов, температурные колебания, состояние воздушной среды и др. Исходя из информации, получаемой из поступающих сигналов, оператор принимает решения и воздействует на органы управления. Машина, исполняя сигналы управления, изменяет позиции, рабочие параметры и подает оператору новую информацию.

Взаимодействие человека и машины в рассмотренном случае характеризуется непрерывностью и представляет собой систему с замкнутым контуром, в которой информация о сигнале на выходе подается обратно к начальному звену системы. Система с разомкнутым контуром не располагает обратной связью, и в ней взаимодействие между человеком и машиной носит прерывистый характер.

Рассмотрим процесс, в котором оператор корректирует работу машины, непрерывно пытаясь устранить разницу между потребными и реальными выходными сигналами системы, иными словами, обратимся к процессу ручного слежения. Условимся, что вход - это информация, вос-



ход - действия оператора.

Человека-оператора машины можно рассматривать как звено системы, исполняющее функции восприятия, переработки информации и управления (рис.8.1). При этом условно выведем за пределы машины индикатор и органы управления, представляющие собой как бы узел "стыковки" оператора и машины.

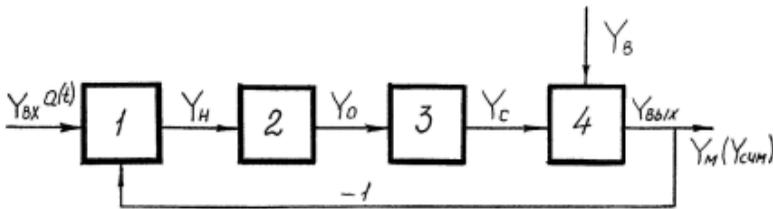


Рис.8.1 Схема взаимодействия оператора и машины: 1- индикатор; 2- человек-оператор; 3-органы управления; 4-машина; $Y_{вх}$ - входной сигнал; Y_n - непрерывно изменяющаяся информация; Y_o - воздействие на органы управления; Y_c – выходной сигнал органа управления; $Y_{вых}$, Y_m ($Y_{сум}$) – выходной сигнал машины; (-1) – отрицательная обратная связь

Оператор, находящийся между индикатором (панельным устройством) и органом управления, воспринимает непрерывно изменяющуюся информацию Y_n и, воздействуя на органы управления Y_o , управляет работой машины. Входные импульсы отображаются машиной на индикаторе, информацию считывает оператор, который предпринимает определенные действия по управлению машиной. Выходной сигнал органов управления Y_c преобразуется машиной в выходной сигнал машины Y_m или всей системы $Y_{сум}$. Таким образом, для оптимизации системы еще в стадии проектирования необходимо учитывать все возможности и ограничения человека, управляющего машиной.

Знание возможностей оператора позволит при проектировании системы правильно распределить функции между человеком и машиной.



8.3. Примеры катастроф и аварий с тяжелыми экологическими последствиями

Новые виды технических средств и технологических процессов, уберегая нас от недостатка энергии и помогая поднимать производительность трудоемких процессов в промышленности и других отраслях, в то же время несут новые опасности, масштабы последствий которых заметно возрастают.

Во время радиационной аварии с Селлафилде (Великобритания) в 1957г., наряду с гибелью людей, было загрязнено радионуклидами около 500 км² территории. Чернобыльская авария 1986 года привела к потере огромного количества жизней, первоначально серьезно было поражено несколько тысяч квадратных километров территории*. Крупная авария на атомной станции Три Майл Айленд в США произошла в 1979 г., непосредственный ущерб от нее превысил 1 млрд. долларов. Резко увеличились поражаемые площади и тяжелые последствия от взрывов и пожаров. В 1973 г. в Чикаго на крупном заводе по выпуску типографической краски в результате аварии возникли пожары и взрывы, разрушившие весь завод. При взрыве в 1976 г. на химическом заводе в г. Севезо (Италия) выброс в атмосферу 2-2,5 кг диоксина привел к заражению территории площадью 18 км² и переселению тысяч людей. В Мексике в результате аварии трейлера с хлором в 1981 г. погибли 29 человек, тысяча крестьян получили тяжелые отравления. В 1984 г. произошла трагедия в Бхопале (Индия), потрясшая весь мир большим количеством погибших, десятки тысяч людей были поражены тяжелыми заболеваниями легких и дыхательных путей.

В США в 1986 г. пылал многосуточный пожар, возникший в железнодорожных цистернах, содержащих фосфор и серу. Из ближайших населенных пунктов было эвакуировано около 30 тыс. человек. В этом же 1986 г. в Муттнеце на берегу Рейна загорелось 800 т различных химических препаратов. Отравляющие ве-

* Последствия, связанные с человеческими жертвами и экологическими поражениями, подробно публиковались в печати.



Инженерная экология

щества попали в Рейн, поразив его на участке более 300 км. Была нарушена жизнедеятельность более 20 млн. человек.

К сожалению, число подобных чрезвычайно тяжелых, омрачающих жизнь общества примеров велико и привести даже малую их часть во всех подробностях не представляется возможным. Важно, что опасности от техносферы возросли до масштаба ущерба, приносимого человечеству стихийными бедствиями. Возникает закономерный вопрос: почему, несмотря на развитие техники и технологии, направленных на повышение надежности и безопасности, аварии продолжают происходить?

Новая техника и сложные производства проектируются с позиции современного характера опасностей, технических и экономических возможностей их предотвращения. Современные проектно-конструкторские разработки в состоянии гарантированно обеспечить безопасную работу технических средств, не будь дефектов в процессе изготовления, отклонений от предусмотренных режимов работы из-за замены материалов, смены сырья, ошибок человека и т. п.. Сознывая неизбежность трудностей такого рода, конструкторы и проектировщики разрабатывают системы, оснащенные устройствами, предупреждающими аварии в случаях нарушения режимов нормальной эксплуатации. К сожалению, надежность защитных средств также подвержена техническим неполадкам и ошибкам в эксплуатации.

С целью устранения и этой погрешности в некоторых случаях ставятся вторые, а иногда и несколько дублирующих устройств, но все они, уменьшая вероятность аварийных ситуаций, не могут свести степень риска до нуля (если оставить в стороне вопрос об усложнении и удорожании техники в случае использования резервирующих систем безопасности).

Вероятность крупной аварии на современных, потенциально опасных производствах оценивается величиной порядка 10^{-4} . Это означает, что возможно одно разрушение объекта за 10 тысяч объекто-лет. Когда объект один, то с высокой вероятностью он не представит опасности, но если объектов тысяча, то каждое десятилетие может разрушиться один из них, а если объектов 10



тысяч, то каждый год один из них статистически может быть источником аварии. Отсюда можно полагать, что возможны две стратегии: или придать технике повышенную надежность в расчете на будущее развитие или вносить нужные коррективы, повышающие надежность в той мере, в какой увеличивается тираж техники. Практически ни одна из этих стратегий не может быть полностью реализована, так как новая техника должна быть экономически рентабельна, а затраты на надежность и избыточность защитных систем мешают этому. Вторая стратегия чревата большим отставанием, ибо вносить коррективы в проекты - это значит изменять устоявшуюся инфраструктуру производства, обновлять действующие стандарты, сложившиеся технологические операции, устои кооперативных связей, накопленный опыт и т.д. Для иллюстрации этих проблем академик В. Легасов (1986) приводит следующий пример. К 1975 году на атомных реакторах в США было менее 100 случаев трещин от коррозии в зоне сварочных швов на трубопроводе. В 1983 г. число дефектов увеличилось в 6 раз. Эта чрезвычайная ситуация потребовала постоянного ультразвукового контроля, многочасовых наплавочных работ, избыточного простоя реакторов и дополнительного облучения персонала во время всех этих операций. Для изменения ситуации потребуется массовая замена труб, связанная с огромными расходами средств. В то же время в ряде стран, например, Японии и Германии, были применены бесшовные трубы из качественных сталей и дефекты подобного рода не проявлялись.

Новые технические решения иногда используются без учета масштабных факторов, без должного анализа проблем безопасности человека и природной среды. Поэтому созданная и развиваемая техногенная сфера накопила в себе значительные потенциальные опасности. Из изложенного вытекает важный вопрос: что же следует предпринимать на современном этапе развития техники? Насыщенность техносферы потенциально аварийными производствами требует нового подхода к решению проблем безопасности. Такой качественно новый подход может быть осуществлен на основе поиска оптимальных решений в области взаимодействия человека, техники и окружающей среды. Для это-



го потребуется внедрение новых тренажеров с развитым математическим обеспечением, создание новых систем информации с уменьшенным объемом данных и разнообразием способов подачи внедренных технических средств повышенной наблюдаемости с использованием автоматических и полуавтоматических устройств в системах управления оператора, внедрение дистанционных диагностических и защитных средств и т.д.

Для того, чтобы научно-технический прогресс техносферы успешно решал проблемы безопасности человека и природы, нужны грамотная и объективная информация о сложностях развития техносферы, научно-техническая и духовная культура общения с ней с учетом факторов жизнедеятельности организма и экологических систем. В современных условиях техносферы необходимы объединенные усилия специалистов различных областей знания, направленные на более гарантированное, безопасное и надежное использование имеющихся достижений. Одной из важных научных дисциплин, привлекаемых к решению задач обеспечения безопасности общества и окружающей природной среды, является инженерная экология, призванная решать важнейшие задачи гармонизации взаимодействия общества, техносферы и природы.

8.4. Повышение надежности системы

Надежность работы системы во многом зависит от безошибочности действия человека-оператора, управляющего системой. В качестве показателя безошибочности часто используют интенсивность ошибок, вычисляя в расчете на одну операцию по статистическим данным следующим образом:

$$P_i = (N_i - n_i) / N_i ; \quad (1)$$

$$\lambda_i = n_i / (N_i \cdot T_i), \quad (2)$$



Инженерная экология

где P_i - вероятность безошибочного выполнения операции i -го типа; N_i, n_i - общее число выполненных операций i -го вида и допущенное при этом число ошибок; λ_i - интенсивность ошибок i -го вида; T_i - среднее время выполнения операций i -го вида.

Вероятность безошибочного выполнения операций

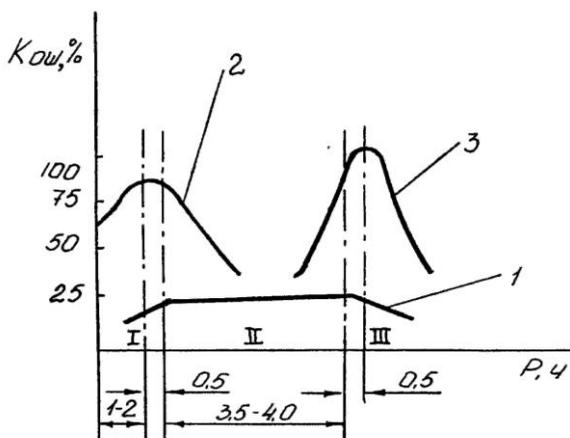


Рис.8.2. Динамика надежности оператора в течение рабочей смены

зависит от уровня работоспособности, и формулу (1) считают справедливой лишь для периода устойчивой работоспособности оператора, которая отличается значительным подъемом производительности труда после вработывания в начале смены (рис.8.2). Динамика работоспособности характеризуется тремя основными фазами: I - вработывание с возрастающей работоспособностью, II - устойчивая работоспособность и III - спад в связи с естественным утомлением (кривая 1). Незначительный спад наблюдается также приблизительно за 0,5 часа до обеденного перерыва, который в основном не связан с изменением работоспособности и поэтому на графике не учтен.

Тенденция распределения количества ошибок $K_{ош}$ в течение смены отражена кривыми 2 и 3. Наложение их на график динамики надежности работы оператора в течение рабочей смены показало, что большая часть ошибок в течение смены, а также негативных явлений, вытекающих из ошибок, например произ-



водственных травм, приходится на период, характеризующийся низкой работоспособностью (см.рис.8.2). Период же устойчивой работоспособности (фаза II) отмечается наименьшим числом ошибок, допускаемых работающим в течение данной смены.

Ошибка человека определяется как неправильное выполнение трудовой операции, ведущее к нарушению стандартов технологии и безопасности труда, она может привести к браку в работе, аварии, повреждению оборудования, производственной травме.

При эксплуатации машин, какой бы ни была степень их автоматизации, требуется участие человека-оператора, который не гарантирован от ошибок, независимо от уровня профессиональной подготовки и опыта. Поэтому изучение и прогнозирование надежности системы без учета надежности работы человека не может дать правильных результатов.

Проектировщики пока еще не располагают количественными данными о надежности человека. Для решения чрезвычайно трудной задачи повышения безошибочности действий оператора желательно рассмотреть: 1) основные функциональные, антропометрические и энергетические возможности человека-оператора; 2) характеристики человека-оператора, связанные с видами его деятельности и влиянием нежелательных факторов окружающей среды.

В первом случае надо учесть, что основные функциональные и антропометрические данные человека установлены достаточно точно. Значительную трудность составляет определение энергетики организма оператора, возможности которой не изучены, хотя этот показатель, очевидно, имеет прямую связь с надежностью работы машины и системы в целом.

Безошибочность действий оператора имеет прямую связь с производительностью системы, поэтому проблема изучения энергетики организма оператора и ее влияние на функциональное состояние человека при проектировании машин будущего поколения чрезвычайно актуальна.

Используя данные наблюдений и некоторых эксперимен-



Инженерная экология

тов со строительными, сельскохозяйственными и другими машинами, можно отметить, что ошибки оператора, выражающиеся в некачественном выполнении функций контроля и управления комбайном, являются результатом перегрузок в основном по двум причинам:

1) физическое напряжение при работе с ручным и ножным органами управления, а также частые выходы из кабины, связанные с технологическими и профилактическими операциями;

2) большое количество информации, поступающей в единицу времени (особенно при новых пультах, оборудованных электронной техникой) и превышающей возможности человека по переработке всего комплекса сигналов.

В результате энергетических перегрузок, обусловленных комплексом дополнительных энергозатрат, появляются ошибки, которые можно рассматривать как отказ звена человека, снижающий производительность системы "человек – машина". Поэтому при выборе содержания рабочего задания следует учитывать весь комплекс нагрузок, возлагаемых на оператора.

Снижение энергетической нагрузки на организм человека в значительной мере может быть достигнуто передачей части функций управления и контроля от человека машине. Эти вопросы взаимосвязаны с компоновкой оборудования в кабине, с выбором эффективного варианта расположения средств "стыковки" машины с оператором.

Второе направление решения задачи повышения надежности оператора связано с рассмотрением зависимостей между характеристиками человека и определенными факторами, понижающими безошибочность его действий. В этом случае целесообразно классифицировать виды деятельности операторов по конкретным типам машин.

При выборе содержания рабочих функций с целью увеличения скорости реакции человека и безошибочности его действий следует учитывать отрицательные факторы внешней среды: шум двигателя и движущихся частей механизмов; вибрацию и толчки в кабине; солнечную радиацию; ненормальные температурные условия; повышенную запыленность и загазованность;



физические и психические перегрузки; недостаточную обзорность с рабочего места (вынужденное напряжение рабочей позы); достаточную совместимость оператора, технического средства и среды.

8.5. Инженерно-эргономические требования к системе "человек-машина среда" (СЧМС)

Под системой в общей теории систем понимается комплекс взаимосвязанных между собой элементов, предназначенный для решения единой задачи.

Система "человек-машина-среда", или, проще, "человек-машина", по существу – абстракция, а не физическая конструкция. Система представляет собой концепцию, поскольку связана с преобразованиями (входных сигналов в выходные), которые невозможно наблюдать, а можно увидеть лишь результаты преобразований. Концепция СЧМ должна быть основана на определенных допущениях. Основные из них, принятые в системе "человек-машина", хорошо сформулированы одним из известных американских ученых в области актуальных проблем человеческих факторов Д. Мейстером. Автор допущений исходит из принципа безусловного соответствия требований системы потребностям человека, управляющего этой системой, что несомненно имеет глубокий этический и гуманистический смысл. Основные допущения (по Д. Мейстеру), принятые в системе "человек-машина":

1. Категория "человек-машина" образует систему (СЧМ), элементы которой – человек, машина и среда – представляют собой подсистемы, организованные определенным образом и подчиняющиеся общим требованиям системы.

2. Элементы СЧМ взаимодействуют между собой, влияя друг на друга и на систему в целом.

3. Будучи искусственным образованием, система целенаправленно (посредством предъявляемых к ней требований) программируется на получение определенных результатов (на основе заранее заданных входных данных):



Инженерная экология

- а) общие требования системы обуславливают работу подсистемы и определяют входные характеристики;
- б) работа системы активируется и направляется необходимостью выполнения этих требований;
- в) система функционирует адекватно только в том случае, если эти требования выполняются;
- г) невыполнение требований, предъявляемых к системе, приводит к изменениям ее функционирования.

4. Как и другие "живые" системы, СЧМ и ее подсистемы функционируют во времени и пространстве и поэтому зависят от изменений, происходящих в указанных измерениях.

5. Выходные параметры всех подсистем должны обеспечивать получение требуемого результирующего продукта на выходе системы в целом; в противном случае работа подсистем становится неэффективной.

6. В той мере, в какой это допускается структурой ее построения, система осуществляет самонастраивание с целью оптимизации соотношений входных и выходных параметров в соответствии с общесистемными требованиями.

Разработка системы включает обычное проектирование входящих в нее отдельных компонентов, но на этом не заканчивается. Поскольку работа каждого отдельного элемента системы является частично функцией других входящих в систему элементов, а также и функцией общей задачи системы, необходимо выработать метод представления и создания системы как единого целого. Система включает в себя человека, машину и работает как одно целое для выполнения поставленной задачи. Поэтому определение системы можно считать условным и зависящим от цели, для которой она создана.

СЧМ является "живой системой", поскольку ею управляет человек. Системам такого типа присущи общие характеристики, к наиболее важным из которых специалисты относят следующие: 1) все элементы системы взаимодействуют друг с другом, 2) каждый элемент системы оказывает влияние на другие элементы и на систему в целом, 3) функционирование системы сопровождается преобразованием энергии и вещества из одного вида в другой.



Не следует путать анализ и оценку системы – это процессы разные. Анализ должен дать представление о структуре и функциях системы: показать компоненты системы, пути и процессы их взаимодействия.

Для того чтобы система отвечала своему назначению и работала эффективно с точки зрения экономичности и охраны здоровья человека, необходимо в самом начале проектирования учитывать факторы человека, его возможности и способности как главного звена системы. Это требование системы "человек-машина" должно быть отправным.

Человек-оператор представляет собой подсистему СЧМ, его поведение должно быть подчинено выполнению общих целей системы. Поэтому для описания системы целесообразно учитывать те данные, в которых характеристики и поведение оператора соотношены с требованиями системы, например, в виде выходных параметров системы.

Подсистему "оператор" следует проектировать в соответствии с требованиями, предъявляемыми ко всей системе. Для этого необходимо использовать различные способы, например, создание оборудования рабочего места и методов управления, учитывающих антропометрические, психофизиологические и другие данные оператора, отбор операторов по признакам их профессиональных и личных качеств. Вместе с тем прогнозирование поведения человека оператора надо вести методами, совместимыми с описаниями действия машины. Это в первую очередь методы моделирования и прогнозирования поведения оператора как подсистемы СЧМ.

8.6 Философские предпосылки и методологические принципы при системном подходе

Инженерная эргономика ставит своей целью оптимизацию орудий и процессов производства, условий труда и окружающей среды. Основной объект ее исследования – система "человек-машина-среда" (СЧМС). Три составляющие системы: человек, ма-



шина и среда – рассматриваются как сложное целое, в котором доминирующая роль отводится человеку. Будучи одновременно научной и проектно-конструкторской дисциплиной, инженерная эргономика включает в свою задачу системный анализ, изучение объективных закономерностей процессов и средств взаимодействия человека, техники и среды с целью приложения их к проектированию и конструированию техники, управляемой человеком.

Для решения проблемы оптимизации СЧМС надо организовать исследовательские работы на таком уровне, чтобы иметь возможность синтезировать данные всех областей знания, например, конструирования и практики эксплуатации машин, психофизиологии, математики. Рассматривая задачу создания благоприятных и высокопроизводительных условий труда человека-оператора в машиностроении, необходимо прежде всего уяснить ряд вопросов. Во-первых, чем обусловлен процесс изменения психофизиологических характеристик человека-оператора с течением времени и насколько он неизбежен? Во-вторых, не лучше ли создавать автоматические устройства, в совершенстве реализующие управление машинами, чем изучать проблему "человек-машина"? В-третьих, каковы методологический аспект проблемы и какие философские категории и закономерности определяют его? Рассмотрим эти вопросы.

Человек-оператор, выполняя функции управления машиной, находится во взаимодействии с окружающей средой и управляемым объектом – машиной. При этом он неизбежно включается в цепь возникающих причинно-следственных связей, отражающих различные субъектно-объектные отношения. Постоянно взаимодействия с окружающей средой, человек не может быть изолирован от процессов, протекающих в ней. Различные виды энергии – механическая, тепловая, химическая, электрическая, электромагнитная и др. – действуют на него, вызывая снижение начальных функциональных характеристик организма. Поэтому, исследуя причины вредных воздействий, надо выявить сущность процессов, формирующих преждевременное утомление и снижающих работоспособность человека-оператора, изучить реакцию его на влияние производственной среды и на основании этого создать



такие рабочие места в СЧМ, которые позволяют выполнять необходимые функции без спадов производительности, не принося в период рабочего времени (смены) ущерба здоровью работающего.

Следует учитывать, что длительное воздействие на человека таких вредных факторов, как шум, вибрация, запыленность, загазованность и т.п. (даже в пределах допустимых концентраций и уровней), может привести к снижению не только функциональных возможностей организма, но и к качественным изменениям в нем. Физиологическая реакция организма на эти изменения проявляется в синдроме утомления.

Снижение работоспособности во времени вследствие развития утомления – процесс естественный. Исключить полностью нежелательные явления вредных воздействий невозможно. Однако мы можем увеличить период высокой производительности, работоспособности, снизить утомляемость – иными словами, изменить отклонение качественных показателей функционального состояния организма так, чтобы они находились в течение рабочего времени в допустимых пределах. Идеальными были бы условия, при которых технический уровень управления и всего комплекса параметров рабочего места соответствовал оптимуму психофизиологических возможностей каждого человека. Однако большая часть средств и орудий труда увеличивает информационную нагрузку на человека, вызывая преждевременное утомление и переутомление. В такой ситуации облегчить положение оператора можно двумя путями: либо внедрением автоматов, либо созданием управляющих устройств или систем на основе науки об учете человеческого фактора в СЧМ.

8.7. Контроль за качеством инженерной продукции

Система контроля, прогноза и управления экологическими процессами, получившая название *мониторинг*, формировалась в течение многих лет в процессе осознания проблемы охраны ок-



Инженерная экология

ружающей природной среды. Первая международная конференция по экологическим проблемам охраны природы с участием 17-ти стран состоялась в 1913 году в г. Берне (Швейцария). Здесь были сделаны первые шаги по организации сбора, обобщения и оглашения данных о состоянии природы. Годом ранее, в 1912 г., в России была основана постоянная природоохранная комиссия при русском географическом обществе.

В 1968 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию о созыве конференции ООН по проблемам окружающей природной среды. Эта конференция состоялась 5 июня 1972 года, на которой *день 5 июня был провозглашен Всемирным днем охраны окружающей среды.*

ЮНЕП – программа ООН по окружающей среде сформулировала важную функциональную задачу оценки окружающей среды, которой призваны заниматься Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС), Международная справочная система об источниках информации по окружающей среде (ИНФОТЕРРА), Международный регистр потенциально токсичных химических веществ, Система данных по окружающей среде и др.

Основные законоположения по охране окружающей природной среды, принятые соответствующими международными организациями, нашли свое отражение с более конкретным содержанием в правилах и нормах каждого цивилизованного государства с учетом специфики всех отраслей хозяйства.

Участие правительственных организаций в процессе контроля и надзора за качеством продукции инженерно-экологических объектов обусловлено установленной законодательными актами ответственностью предприятий за здоровье и безопасность рабочих, безопасность потребителей, предусматривает решение задач и проблем, связанных с охраной окружающей среды, а также за разработку социальных правил, методик и инструкций, относящихся к новым объектам инженерной экологии.

В России так же, как в других крупных промышленных странах, например США, специальных органов целенаправленного надзора за инженерно-экологической продукцией нет. Однако имеется мощная система надзора и контроля за соблюдением



Инженерная экология

безопасной жизнедеятельности, в которую включаются два основных направления: охрана окружающей природной среды и инженерно-техническое. Согласно основам законодательства о труде, эти функции осуществляют специально уполномоченные государственные организации и инспекции, не зависящие в своей деятельности от администрации предприятий, учреждений, организаций и их вышестоящих органов.

В нашей стране в начале 80-х годов были разработаны и введены некоторые стандарты, ставшие основополагающими документами в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основными задачами систем стандартизации были: обеспечение сохранности природных ресурсов, совершенствование контроля, прогноза и управления экологическими процессами. Объектами стандартизации стали предельно допустимые концентрации и уровни (ПДК и ПДУ) загрязнений окружающей природной среды, методы расчетов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, правила, нормы рационального использования природных ресурсов, методы и средства экологического мониторинга и др.

Второе направление стандартизации отразилось в Системе стандартов безопасности труда (ССБТ), в которой для каждого вида вредных факторов, выбрасываемых в окружающую среду, указываются предельно допустимые уровни или концентрации и методы и средства защиты от действия их.

При разработке инженерных мероприятий по защите здоровья людей за исходные данные принимаются гигиенические и технологические нормативы, изложенные в ССБТ как самостоятельный раздел Государственной системы стандартизации. В эту систему включается комплекс стандартов, направленных на обеспечение безопасной жизнедеятельности и устанавливаются требования и нормы по всем видам вредных факторов. Стандарты ССБТ разделяются на государственные, отраслевые, республиканские и стандарты предприятий.

Вмешательство правительственных организаций в контроль за качеством продукции, например, биотехнологии, обусловлено установленной законодательными актами ответст-



Инженерная экология

венностью этих организаций за безопасность жизнедеятельности работающих, потребителей и окружающей среды. Представляет интерес надзор за производством биотехнологической продукции в крупных индустриально-развитых странах. В США такой надзор в основном осуществляется тремя правительственными организациями: Управлением по контролю за качеством пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств; Министерством сельского хозяйства США и Агентством по охране окружающей среды. В нашей стране существует система государственного санитарного надзора, осуществляющая контроль над выполнением санитарно-гигиенических правил предприятиями и частными организациями с целью предупреждения загрязнения внешней среды и оздоровления условий труда. В настоящее время находятся в стадии формирования различные инспекции государственного и отраслевого уровня, которые призваны осуществлять контроль и надзор за состоянием окружающей природной среды и выполнением природоохранных мероприятий, реорганизуются старые и формируются новые структуры.

Конечная цель технической деятельности состоит как в эффективном удовлетворении материальных и духовных потребностей, так и в сохранении окружающей природной среды, гарантированной защите ее от техногенных загрязнений.



ГЛАВА 9. ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

9.1. Средства защиты человека в условиях развития техносферы

На современном производстве (в угольных шахтах, горячих цехах, металлургии, на некоторых химических производствах, на атомных электростанциях и т.д.) пока еще не исключены работы в сложных, вредных и опасных условиях. Последние годы все больше осваиваются новые области планетарных систем - космос, арктические и антарктические регионы, подводные пространства. Сначала человеку удавалось только проникать в эти сложные для обитания и опасные области, но со временем человек осваивает, начинает все дольше жить и работать в столь необычных условиях. Уже в наши дни космос используется как естественный полигон для фундаментальных и прикладных научных исследований и решения проблем промышленного производства. Во всех этих случаях человек, работающий со сложной современной техникой как звено системы "человек - техника - среда", подвергается опасности, и вопросы безопасной жизнедеятельности человека в эргатических системах требуют подробной специальной разработки, которая может занять несколько томов. Тем не менее, необходимо иметь представление о проблемах безопасности техносферы и специальных технических средствах, защищающих жизнь и здоровье человека от действия опасных факторов.

Чрезвычайные ситуации и аварии представляют собой довольно существенный источник опасности для жизнедеятельности человека и окружающей его среды. Одно из крупных бюро безопасности человека в промышленности и защиты окружающей среды от загрязнения "Веритас" (Норвегия) составило диаграмму вероятности возникновения аварийных ситуаций в зависимости от вида деятельности человека. Вместе с тем, если говорить о технических устройствах, позволяющих защитить психофизиологические системы организма от экстремальных условий, то



Инженерная экология

особый интерес в сфере развития техносферы представляют защитные средства, используемые в космосе и подводной среде. Эти средства в случае аварии эргатической системы - космического корабля или подводного судна - должны обеспечить относительно долгое сохранение жизнедеятельности человека, потерпевшего аварию. Какие же это защитные средства в сфере самых опасных и сложных планетарных исследований?

В аварийных условиях защитные средства должны работать на рубежах организма и окружающей среды. И здесь важна, прежде всего защита двух физиологических функций - дыхания и теплового баланса в посткатастрофических условиях. Для обеспечения защиты системы дыхания (получение нужного количества кислорода, выведение углекислоты) используются специальные промышленные респираторы, противогазы, кислородные приборы, защитные маски, специальные дыхательные аппараты. Обеспечение теплового баланса организма осуществляется средствами защиты с помощью специальной тепловой спецодежды и скафандров из самых различных материалов, имеющих многослойную конструкцию. Например, в космонавтике, авиации и на флоте для защиты организма человека от переохлаждения в случае попадания в холодную воду применяют теплозащитные спасательные костюмы, позволяющие человеку находиться в экстремальной ситуации около суток и более (снижение температуры тела не превышает 2°C при шестичасовом пребывании в ледяной воде).

Согревание (под водой) или отвод тепла (в космосе) обеспечиваются подачей к поверхности тела определенного количества воздуха, воды или другого теплоносителя с необходимой температурой. Примеры таких систем - вентилируемый костюм космонавта или костюм жидкостного обогрева водолаза. Конструкторская задача управления такими защитными устройствами теплового баланса, по существу, сводится к выбору двух параметров: текущего расхода теплоносителя и его температуры. Далее конструктор должен выбрать наилучшее распределение функций между системами пассивной и активной защиты и оптимальной компоновкой теплозащитного слоя по поверхности тела



человека. При поиске лучших конструкторских решений полезно применять математическое моделирование и вычислительные эксперименты на ЭВМ, которые позволяют получить достаточно ясное представление о состоянии организма, находящегося в защитном снаряжении. Эти модели тем ближе к реальной ситуации, чем больший экспериментальный материал используется для построения математической модели. Подробнее эти вопросы рассмотрены в разделах книги о методах моделирования.

9.2. Очистка промышленных газов

Охрана и оздоровление воздушного бассейна осуществляются при помощи конструктивно-технологических, санитарно-технических и планировочных мероприятий. К основным из них относятся разработка и применение технологий производства, обеспечивающих по возможности максимальное использование сырья, внедрение безотходной и малоотходной технологий, предотвращающих или существенно уменьшающих количество вредных выбросов.

Промышленные выбросы подразделяют на технологические выбросы с высокой степенью концентрации вредных веществ и вентиляционные выбросы, характеризующиеся сравнительно более низким содержанием вредных примесей.

Выбросы, содержащиеся в вентиляционных и технологических газах промышленных предприятий, представляют собой механическую пыль или возгоны. Частицы механической пыли имеют размер от нескольких микрометров до десятков микрометров. Возгоны - это аэрозоли, образовавшиеся в процессе химических реакций либо в результате конденсации в технологических процессах, с размером частиц от десятых до сотых долей микрометра.

Для сокращения вредных выбросов из труб на промышленных предприятиях используются различные технические средства пылеулавливания, основанные на инерционном и мокром



способах очистки, электростатические уловители, фильтры, аппараты химической очистки и другие инженерные устройства.

Рассмотрим технические средства очистки промышленных газов.

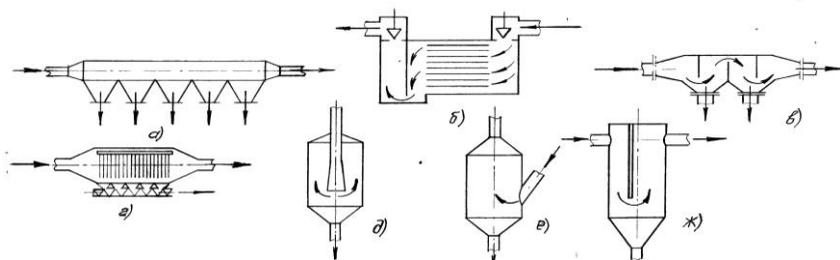


Рис.9.1. Пылеосадительные технические средства инерционного действия: а) простейшая пылеосадительная камера; б) многополочная камера; в) камера с перегородками; г) камера с цепными и проволочными завесами; д) пылевой мешок с центральным подводом газа; е) пылевой мешок с боковым подводом газа; ж) пылеосадитель с отражательной перегородкой

К простейшим пылеосадителям относятся аппараты с инерционным пылеулавливанием (рис.9.1). В пылеосадительных камерах наряду с действием сил тяжести используются инерционные силы, благодаря которым пылевые частицы при резком повороте газового потока выпадают в бункер. Инерционный пылеуловитель нашел применение в черной и цветной металлургии (см.рис.9.1,д). В пылевых мешках, устанавливаемых непосредственно за доменными печами на заводах черной металлургии, скорость газов в цилиндре принимают 1,0 м/с, во входной цилиндрической части - 10 м/с и более, высота приблизительно равна диаметру; гидравлическое сопротивление мешков составляет 150–390 Па, или 15–40 мм вод. ст.

Наиболее распространенным техническим средством для очистки воздуха от пыли являются циклоны. В циклонах используется центробежная сила, развивающаяся при вращательно-поступательном движении газового потока. При вращении отходящих газов частицы пыли или золы под действием центро-



бежной сипы вместе с частью газов попадают в бункер. Отделение частиц от попавших в бункер газов происходит при перемене направления движения под действием сил инерции (рис.9.2).

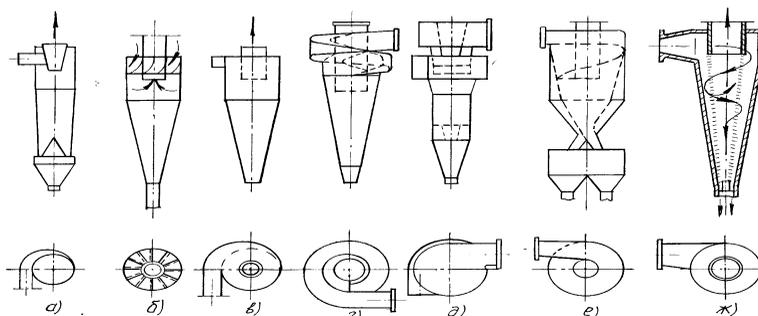


Рис.9.2. Примеры конструкций циклонных пылеуловителей:

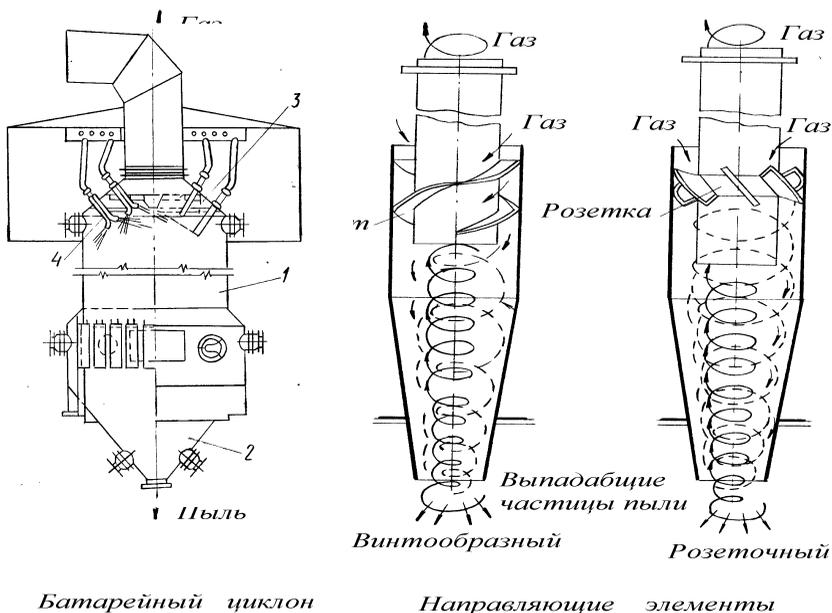
а) и б) – циклоны Чехословацкой конструкции; в) циклон Мельстроя;

г) циклон улиточного типа; д) циклон Давидсона; е) циклон с двойной стенкой;

ж) циклон с перфорированной выхлопной трубой

Для повышения эффективности очистки воздуха при значительной запыленности газа вместо одного циклона большого размера устанавливают несколько циклонов либо батарейный циклон (рис.9.3).

Газы с высокой запыленностью поступают через патрубок 1 в распределительную камеру 2, равномерно распределяются по отдельным циклонным элементам 3 и, вращаясь, опускаются вниз. Дойдя до конца потока, вихрь поворачивается вверх, а частицы пыли, золы, капли выпадают в общий пылесборник 4. Очищенные газы поступают в камеру 5, откуда через патрубок 6 выходят из очистного устройства. Направляющие элементы циклона 3 могут быть винтообразной либо розеточной конструкции.



Батарейный циклон

Направляющие элементы

Рис.9.3. Усиленный циклон батарейного типа

Рис.9.4. Полый скруббер мокрого пылеулавливания

Чтобы повысить эффективность аппарата с применением второй ступени очистки, используют устройства мокрой очистки. Работа аппаратов мокрого пылеулавливания основана на промывании запыленного газового потока жидкостью, подаваемой в виде брызг или тумана (рис.9.4).

Полый аппарат 1 применяют для очистки газа от пыли и одновременного охлаждения газов. Загрязненный газ входит сверху в вертикальный полый цилиндр с коническим дном 2; пройдя через распределительную решетку 3, состоящую из перфорированных секторов, поворачивающихся для очистки от пыли; очищенный газ выводится снизу, а жидкость с пылью - через смонтированный в днище 2 гидрозатвор. Подача



Инженерная экология

воды осуществляется через сопла форсунки 4.

Для очистки больших объемов газов в химической, металлургической, газовой и других отраслях промышленности, там, где приходится очищать от пыли самые разнообразные аэрозоли и туманы, применяется электростатическая очистка. Она основана на электризации пыли и выделении ее из газа под действием электростатического поля (рис.9.5).

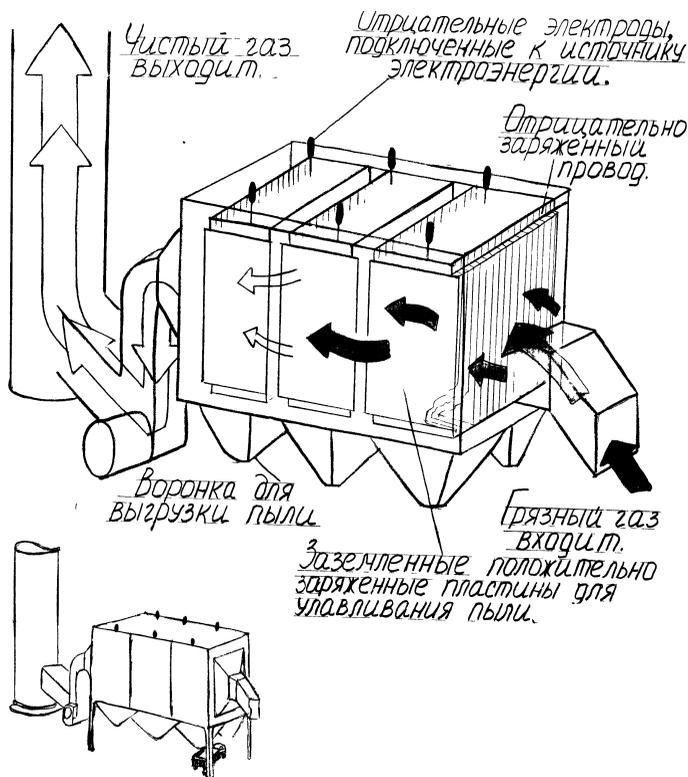


Рис. 9.5. Электростатический аппарат для очистки промышленных газов

Частицы пыли заряжаются отрицательно, а затем притягиваются к положительно заряженным пластинам. Технические средства для электростатической очистки подразделяют на сухие и мокрые. Сухие служат для очистки газов с температурой до 400-



450°C. Они очищаются встряхивающими приспособлениями. Мокрые электрофильтры применяют для очистки газа от тумана серной кислоты, мышьяка, селена. Пыль с электродов очищается промыванием.

Химическая очистка применяется в тех случаях, когда химические примеси представляют собой ценное сырье, например, для использования в производстве плавиковой, соляной, азотной кислот, сероуглерода и других веществ. Основана эта очистка на способности газа при соприкосновении с жидкостью растворяться в ней.

Для улавливания пыли применяют также ультразвуковую и звуковую коагуляцию, суть которой заключается в том, что под действием звуковых или ультразвуковых колебаний происходит коагулирование, т.е. слипание частичек пыли. Технические средства такого рода включают генератор звука, коагуляционные камеры и различные осадители типа циклона. Эффективность пылеулавливания оценивают в заводских лабораториях путем многопоточного отбора проб загрязненного и очищенного воздуха.

Для очистки пылегазовых выбросов от радиоактивных аэрозолей применяют пылеуловители различных видов.

Для очистки вентиляционных выбросов от радиоактивных инертных газов (РИГ) применяют адсорбционные колонны или газгольдеры. Очищаемый газ подается к теплообменнику для охлаждения и далее - к сепаратору и аэрозольному фильтру. Отфильтрованный газ поступает в цеолитовые колонны для глубокой осушки. При осушке интенсивно выделяется тепло, поэтому после колонн газ подается к теплообменнику и далее - к угольному адсорберу. Движение газа обеспечивается воздуходувкой, а регулирование расхода в цеолитовых колоннах - с помощью вентилялей. Цеолитовые колонны работают периодически: в одной происходит осушка газа, в другой - регенерация горячим воздухом, который нагревается в электрокалорифере с предфильтром.

В учебной и специальной литературе широко и подробно описаны технологические процессы и существующие конструкции самых разнообразных технических средств для очистки воз-



духа.

9.3. Очистка сточных вод

Вода обладает необыкновенно ценным свойством непрерывного самоочищения, регулируемого биохимическими циклами. Уже было сказано, что поступающие в водоемы загрязнения подвергаются изменениям в пространстве и времени, обретая другую концентрацию, структуру и физико-химические свойства. В результате совокупной деятельности бактерий, водорослей, высших водных растений и различных беспозвоночных организмов в условиях действенной природы процесс самоочищения осуществляется быстро. С увеличением количества загрязняющих веществ так называемая способность самоочищения водоема снижается и при определенном их уровне может вообще исчезнуть. Так, химические, нефтеперерабатывающие и другие предприятия сбрасывают со стоками некоторые органические вещества, которые под действием микроорганизмов окисляются, потребляя для этого кислород, растворенный в воде. Резкое уменьшение кислорода вызывает гибель организмов, составляющих сложную живую систему водоема, нуждающуюся для своей жизнедеятельности в кислороде. В то же время начинают усиленно развиваться анаэробные микроорганизмы, не нуждающиеся в кислороде и активно содействующие нарушению экологического равновесия, развитию процессов гниения и, в конечном счете, гибели водоема.

С ростом антропогенного воздействия на биосферу и гидросферу загрязнения, поступающие в водоемы пресной воды, приняли масштабы, при которых очистка сточных вод становится неизбежным элементом водопользования.

В ближайшем будущем, вероятно, человечеству не удастся избежать загрязнений воды в процессе ее технологического использования. А это обязывает к решению чрезвычайно важных задач очистки сточных вод от загрязнений любых видов. Необходима очистка воды до такой степени, чтобы при сбросе ее в водоем и смешении с природной водой биохимическая потребность в кислороде (БПК) была в пределах нормы, установленной



санитарными правилами. Постоянное накопление загрязняющих веществ в биосфере и гидросфере, а также быстрый рост ства новых, еще плохо изученных химических элементов и их соединений, сбрасываемых со сточными водами, выдвигают проблемы пересмотра санитарных норм в сторону более жестких ограничений. Одни ограничения, однако, не могут стать гарантом сохранения естественных качеств природных вод, необходимо одновременное соблюдение предельно допустимых концентраций загрязнений.

9.3.1. Методы очистки сточных вод

Сточные воды, в зависимости от условий их образования, подразделяются на бытовые или хозяйственно-фекальные (БСВ), атмосферные (АСВ) и промышленные (ПСВ). Наибольшее количество загрязняющих компонентов содержат промышленные сточные воды, жидкие отходы которых являются продуктами переработки органических и неорганических веществ.

По своему фазово-дисперсному состоянию сточные воды согласно классификации, предложенной Л. А. Кульским, подразделяются на четыре группы (табл.9.1).

Таблица 9.1

Классификация примесей по их фазово-дисперсному состоянию

Группа	Степень дисперсности частиц примесей, см ⁻¹	Размер частиц, мм	Краткая характеристика примесей
Гетерогенные системы			
I – смеси	10 ⁵	10 ⁻⁶	Суспензии и эмульсии,



Инженерная экология

II - коллоидные растворы	10^5-10^6	$10^{-5}-10^{-6}$	обуславливающие мутность воды, а также микроорганизмы и планктон; коллоиды и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость и цветность воды
Гомогенные системы			
III – молекулярные растворы IV – ионные растворы	10^6-10^7	$10^{-6}-10^{-7}$	Газы, растворимые в воде, органические вещества, придающие запахи и вкусы. Соли, основания, кислоты, обуславливающие минерализованность, жесткость, щелочность или кислотность воды

Промышленные сточные воды очищают различными методами, к важнейшим из которых относятся: механический, химический, физико-химический, биологический и термический.

Механическую очистку сточных вод применяют при выделении нерастворимых примесей методами процеживания, отстаивания и фильтрования. Обычно эти методы применяют в качестве предварительной очистки сточных вод. Процеживание с помощью разнообразных приспособлений типа решеток, сит, сеток и самоулавливателей позволяет избавиться от грубодисперсных примесей, а мелкие твердые частицы удаляются методом отстаивания и фильтрования. Тяжелые частицы примесей осаждаются, легкие же вещества всплывают на поверхность воды отстойника, откуда могут быть легко удалены. При необходимости очистки вод, содержащих нефтепродукты, применяют широко распространенные маслотовушки, жиротовушки, нефтеловушки, которые, однако, малоэффективны, так как процесс очистки в них малоинтенсивен и требует специальных устройств для отвода нефти. К более эф-



фективным устройствам для очистки нефтесодержащих сточных вод относятся усовершенствованные, весьма простые, но дающие большой эффект очистки технические комплексы*.

Для интенсификации процессов отстаивания и фильтрации в сточные воды обычно добавляют коагулянты и флокулянты или используют гидроциклоны и центрифуги, которые повышают скорость очистки действием центробежных сил. Использование современных устройств для механической очистки позволяет достигнуть выделения из бытовых сточных вод до 60% нерастворенных веществ, а из производственных - до 90–95%.

Химические методы очистки основаны на добавлении в сточные воды таких реагентов, которые, вступая в химическую реакцию с загрязняющими веществами, способствуют получению малотоксичных веществ, а также выпадению в осадок (нерастворенных коллоидных или частично растворенных водных примесей). Среди химических методов очистки широко распространены нейтрализация и окисление (активным хлором, кислородом воздуха, озоном и другими веществами), способствующие уменьшению количества нерастворенных примесей сточных вод до 95% и растворенных - до 25%.

Физико-химическую очистку применяют для удаления из вод суспензированных и эмульгированных примесей, а также органических и неорганических веществ, растворенных в сточной воде с помощью коагуляции, отдувки, ионного обмена, адсорбции, экстракции, ультрафильтрации, кристаллизации, дистилляции, дезодорации и других методов.

Термическая очистка сточных вод применяется в тех случаях, когда промышленные сточные воды не поддаются очистке перечисленными методами. В этом случае загрязненную воду подвергают термическому обезвреживанию или же перекачивают ее в глубинные скважины.

* Характерным примером такой техники может служить устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод, а. с. 570558 (Аствацатуров А.Е., Чайка И.Г.), повысившее эффективность прототипа – патент США № 3520105, кл. 55–191, 1968.



Биологическая очистка состоит в минерализации органических загрязнений сточных вод, которые окисляются микроорганизмами. В естественных условиях такая очистка проводится на специальных полигонах, называемых полями фильтрации или полями орошения. На этих полях сточные воды разливаются по системам каналов, где очистка их от загрязнений осуществляется путем фильтрации вод в слоях почвы толщиной не менее 0,8 м.

Биологическая очистка воды - процесс, присущий природе, выработавшей в ходе эволюции на Земле устойчивый механизм экологического равновесия. На основе знаний о сложных взаимосвязях живых организмов в биосфере человек создал различные очистные сооружения, работающие на принципе биологической очистки: биологические пруды, представляющие самостоятельные экологические системы; биологические фильтры, использующие в качестве рабочего звена тонкую бактериальную пленку или аэротенки - искусственные сооружения в виде больших бетонных резервуаров, в которых сточные воды продуваются сильными струями мельчайших пузырьков воздуха снизу вверх. В таких устройствах "рабочим телом" служит масса, состоящая из двух компонентов: микроскопических растений и животных. Этот биологический механизм очистки - плод творческой фантазии человека, претворенный в реальные биофильтры, каких в природе не существует.

Процесс так называемой минерализации органических веществ становится интенсивным в условиях, когда имеется избыток кислорода в виде пузырьков воздуха и приток органических веществ со сточными водами. Тогда в иле биологического очистного устройства бурно развиваются бактерии и различные микроорганизмы, бактерии слипаются в комья причудливой формы, образуя огромную активную поверхность, выделяющую ферменты, расщепляющие органические вещества, которые выпадают в осадок в виде минералов. Сущность биологической очистки мало чем отличается от процессов, происходящих на полях орошения и фильтрации, хотя биохимическое окисление в первом случае происходит значительно быстрее.

Интенсивное использование перечисленных устройств с



биохимическим способом очистки, естественно, приводит к скоплению огромного количества осадков, которые можно рекуперировать в ценные продукты. Так, из активного ила успешно получают белково-витаминные корма (продукты белвитамин), витамины В₁₂. Активные угли или осадки, получаемые при обработке и очистке сточных вод гидролизной и бумажной промышленности, перерабатывают в продукты, используемые в сельскохозяйственном производстве в качестве удобрений.

9.3.2. Рациональное водопотребление в промышленности

Не так давно устройство очистных сооружений считалось проявлением высокой природоохранной культуры. Но такой, как выяснилось, примитивный подход бесконечного чередования сброса и очистки с развитием цивилизации вряд ли защитит воду от гибели. Нужна не очистка, а защита естественных вод от загрязнений.

Очистные сооружения пока еще не имеют большого удельного веса среди объектов, предназначенных для охраны окружающей среды от загрязнений. Во всех частях мира есть еще предприятия, где очистка сточных вод считается эффективной, если она дает возможность не превышать предельно допускаемые концентрации загрязняющих веществ. Вместе с тем водооборотные циклы (исключившие спуск загрязнений в воду) стали реальной составляющей технологических процессов многих предприятий, работающих с нулевым сбросом.

Отказ от очистных сооружений, считавшихся долгие годы основным средством защиты водных ресурсов от загрязнений, необходим не только потому, что это лишь частичная мера, не исключающая вредных составляющих веществ в гидросфере. По современным оценкам, содержание очистных сооружений - экономически не выгодный процесс. Подсчитано, что расходы на устранение ущерба от загрязнения водоемов резко возрастают от увеличения концентрации вредных примесей, а повышение эффективности очистки неизменно влечет за собой рост затрат на

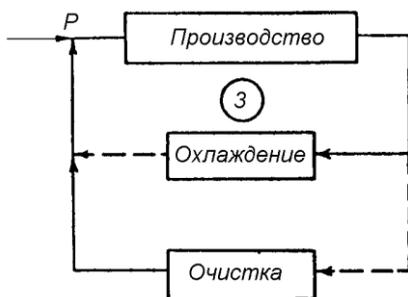
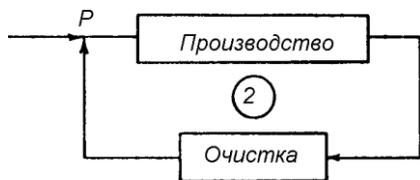
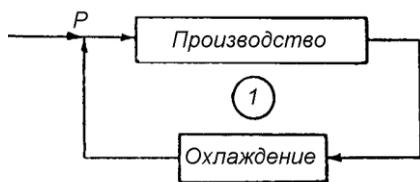


очистку.

При нынешнем положении дел с постоянным увеличением загрязнений гидросферы очевидным становятся два направления в борьбе за охрану водных ресурсов. Во-первых, это ужесточение экономической ответственности водопотребителей за некачественную очистку сточных вод, во-вторых, разработка и внедрение новых технологий, коренным образом изменяющих подход к проблемам охраны окружающей среды.

Мощным катализатором выполнения указанных тенденций, видимо, должно стать развитие новых законодательных актов по использованию и охране водных ресурсов от загрязнений промышленными и бытовыми стоками, в которых будут учтены современные проблемы защиты гидросферы. Отказ от старых и внедрение новых технологий, прежде всего, обусловлен созданием промышленных предприятий без выбросов и отходов. Такие предприятия должны применять новейшие системы технологических процессов, в которых использование сырьевых и энергетических ресурсов будет увязываться с требованиями защиты природы и здоровья человека. В нашей стране основные тенденции создания таких производств связаны с системой переработки сырья, содержащей комплексы выделения и обработки всех отходов в виде готовой продукции.

В последние годы наметились разные технологические направления, обеспечивающие существенное снижение водопотребления и загрязнения. К наиболее перспективным из них относятся: разработка и внедрение водооборотных циклов; повторное использование очищенных вод в оборотных системах охлаждающей воды; разработка принципиально новых безводных технологических процессов с внедрением их в первую очередь на производствах с ядовитыми отходами, применение систем воздушного охлаждения.



Наиболее рациональными способами сбережения водных ресурсов становятся водооборотные циклы, принципиальные схемы которых указаны на рис.9.6.

Водооборотные циклы водоснабжения сейчас широко используются в теплоэнергетике и на атомных электростанциях, где в связи с этим снижается потребление чистой воды. Внедрение водооборотных циклов в США позволило значительно уменьшить количество потребляемой воды в теплоэнергетике с 230 км³ в 1970 г. до 100 км³ в настоящее время, при этом выработка энергии возросла. Специалисты разработали целые комплексы перспективных систем с водооборотными циклами, которые

наряду с исключением сброса сточных вод значительно уменьшают потребление свежей воды. Примером того может служить внедренная на Волжском автомобильном заводе бессточная система (вместо существовавшего ранее комплекса очистных сооружений), с вводом которой сэкономлено 10 млн кВт ч электроэнергии.

Рассматривая обратное водоснабжение как эффективное средство потребления свежей воды, следует иметь в виду, что в нем используются методы очистки сточных вод, которые должны обеспечивать необходимое количество технологической воды. В технике, как известно, качество воды определяется совокупностью показателей: физических, химических, биологических и бактериальных. В зависимости от назначения воды и требований технологического процесса вода классифицируется по четырем категориям. К I категории от-



Инженерная экология

системах охлаждения, ко II - употребляемая в качестве среды глущения и транспортирования механических и растворенных примесей без нагрева, к III категории относят воду того же назначения, что и II, но с нагреванием, и IV категории - используемая как растворитель реагентов (данные приводятся по Г. В. Стадницкому и А. И. Родионову).

Одним из важнейших направлений является внедрение безотходной технологии, где все виды отходов (жидкие, твердые) полностью утилизируются. Обезвреживание и утилизация твердых промышленных отходов составляют весьма сложную и трудноразрешимую задачу. Дело в том, что сложный цикл безотходной технологии может быть реализован в условиях комплекса взаимосвязанных предприятий, в которых отходы одного производства становятся исходным сырьем для другого. Но многие отходы (в том числе крупнотоннажные) пока не находят широкого применения. Часть не утилизируемых отходов собирают предприятия Главвторчермета и Главвторсырья, однако большую часть этих отходов подвергают захоронению или вывозят на специально организованные для этой цели полигоны.

Промышленные отходы в США, по некоторым данным составляют свыше 1 млрд т, в Японии – 260 млн т в год. В России объем потребления вторичных ресурсов за последнее пятилетие возрос более чем на 4 млн т. Основой комплексного использования сырья, а следовательно, и защиты природы от загрязнений служит так называемая рекуперация - улавливание и переработка отходов. Предприятия с безотходными технологиями начали строиться в нашей стране уже в 30-х гг., но это были единичные производства; в середине 80-х гг. развитие таких предприятий получило качественно новый уровень. Примером тому служит разработка и внедрение промышленного комплекса ванадиевых шлаков, при котором было достигнуто полное соблюдение требований защиты окружающей среды (за разработку указанного комплекса группа советских специалистов в 1976 г. была отмечена Государственной премией).

Не менее важным направлением существенного снижения водопотребления и загрязнения сточных вод становится внедре-



ние "безводных" или "сухих" технологий. Использование таких технологий в нефтеперерабатывающей промышленности позволило уменьшить расход воды на переработку одной тонны нефти в 100 раз, в целлюлозной промышленности на базе новых технологий сокращено потребление воды в 6 раз, а концентрация поддающихся очистке загрязнений сточных вод уменьшилась в 7 раз. При проектировании промышленных предприятий без выбросов отходов в природную среду предусматривают создание комплексов бессточных и замкнутых систем водопотребления, комплексную переработку сырья; рекуперацию промышленных отходов; разработку промышленных объединений с замкнутой системой потоков переработки сырья и отходов и заготовления новой продукции.

Другая крупная составляющая загрязнений гидросферы - бытовые сточные воды, которые представляют с точки зрения очистки сточных вод и уменьшения их объема сложнейшую проблему планеты. Дело в том, что здесь невозможно создать обратное водоснабжение или безводную технологию. Это не позволяет сделать ни сегодняшний уровень развития различных технологий, ни глобальный уровень мышления тех людей, специалистов и других лиц общества, которым предстоит принимать кардинальные решения новой ориентации. Необходимо время, а пока продолжается загрязнение окружающей среды, нарушение экологических систем в биосфере, гидросфере, огромные экономические потери, рост заболеваемости и смертности из-за потребления загрязненной воды, и, пожалуй, самое важное - генетическое воздействие разрушающего характера на следующие поколения человека и всей будущей биосферы.

9.3.3. Технические средства очистки сточных вод

Сточные воды как ресурс промышленного водоснабжения по своему составу разнообразны и могут содержать загрязнения, находящиеся в различных агрегатных состояниях. Примеси, загрязняющие сточные воды, подразделяют на три категории.



Мусор и грубодисперсные примеси. Мусор - это полиэтиленовые и пластиковые частицы пакетов, тряпки и прочие предметы, попадающие в систему очистки. Ливнестоки приносят также частицы почвы, глины, песка, эмульсий, попадающие в водоемы с промышленных предприятий. Для удаления этих примесей используются устройства механической очистки: решетки, песколовки, отстойники, септики.

Органические вещества, или коллоидные примеси, которые находятся в воде в виде тонкодисперсных образований. Это как живые организмы (бактерии-редуценты), так и неживая органика (волокна бумаги и тканей, пищевые отходы). Вещества этой категории изменяют цвет воды. Термин "коллоиды" свидетельствует о том, что эти вещества не оседают, а остаются во взвешенном состоянии. Для удаления этих примесей используют коагулянты - вещества, вызывающие слипание и укрупнение частиц.

Растворенные в воде органические соединения и газы. К ним относятся в основном биогены, например, соединения азота, фосфора и калия из продуктов жизнедеятельности, обогащенные фосфатами. Вещества этой категории придают воде различные привкусы, запахи, окраску. Очистку воды осуществляют аэрированием - продувкой воды воздухом, введением окислителей, разрушающих большинство примесей этой категории, адсорбцией - применением активированного угля, который удаляет примеси путем впитывания (сорбирования) многих примесей.

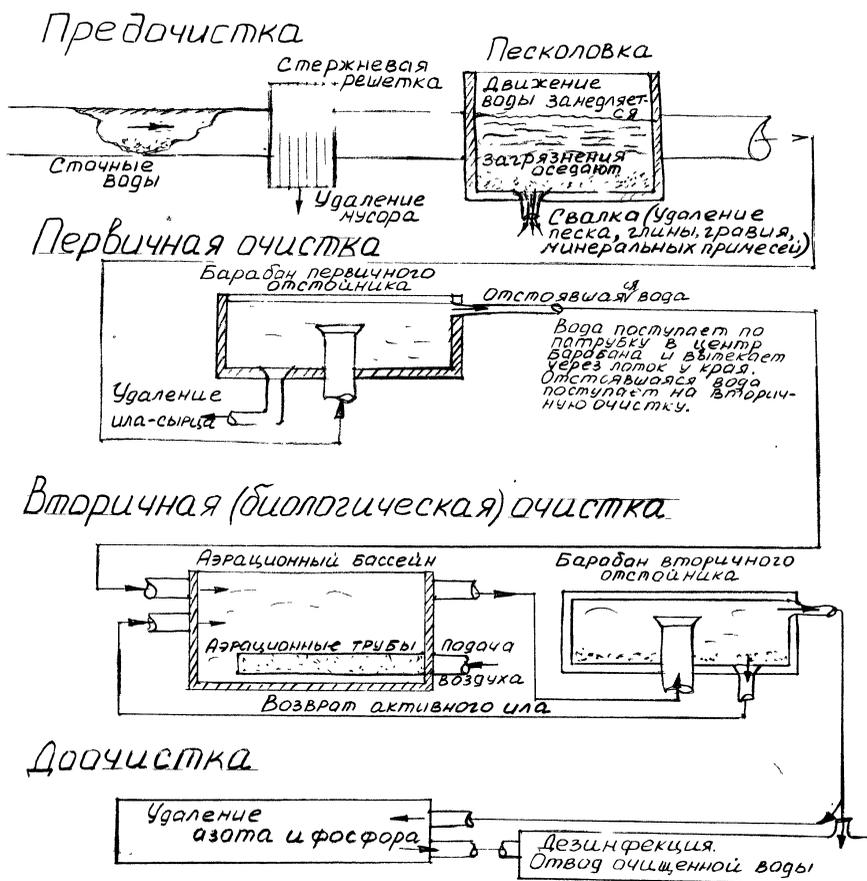


Рис.9.7. Общая схема очистки сточных вод

Общая схема очистки воды включает следующие этапы (рис.9.7):

предочистка - очистка воды от мусора грубодисперсных примесей с помощью стержневой решетки и песколовки или грязеотстойника;

первичная очистка - осуществляется путем медленного пропускания воды через первичные отстойники, при этом вода на выходе из баков-отстойников все еще содержит до 70% неосевших органических веществ и растворенные биогены;



вторичная или биологическая очистка может быть выполнена при помощи капельных биофильтров и активного ила. В этой очистке участвуют живые естественные редуценты, потребляющие органические вещества. В процессе дыхания они превращают это вещество в воду и углекислый газ (см.рис.9.7).

Сточные воды очищают механическим, биологическим, физико-химическим и обеззараживающим (дезинфекционным) методами. Приведем несколько примеров.

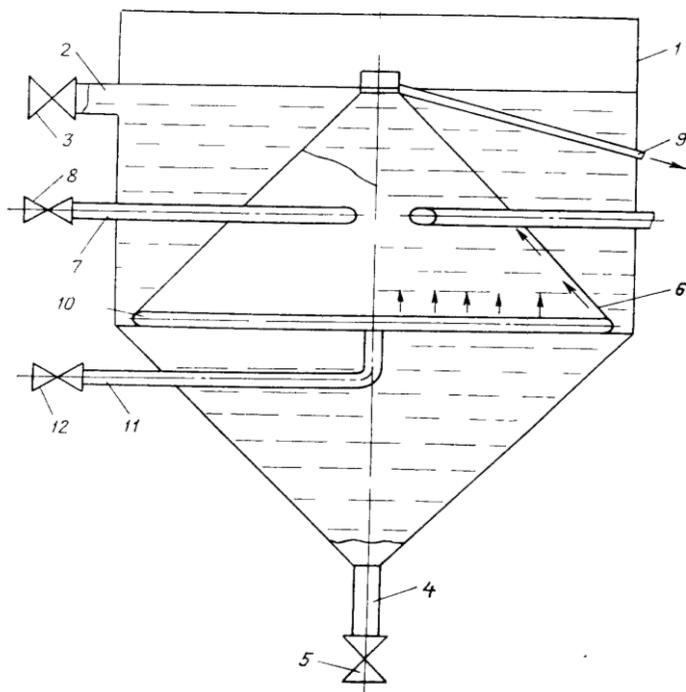
Отстойники служат для удаления из сточных вод механических примесей и частично коллоидных (минеральных и органических) загрязнений. Они могут применяться в общей схеме очистки, как это показано на рис.9.7, и как самостоятельные сооружения, если требуется очистка только от технических примесей. При расходе сточных вод не более 50000 м³/сут. используют вертикальные отстойники. Горизонтальные отстойники используются на станциях производительностью 30000 – 50000 м³/сут для удаления из сточных вод коагулированных взвесей или там, где необходимо удалять некоагулированные взвеси при любой производительности.

В промышленности особую проблему составляет очистка сточных вод от нефтепродуктов. В качестве примера приведем одно из устройств, отличающееся простотой конструкции и эффективностью в работе (устройство отмечено дипломом НТО МПС). Авторы серии таких устройств А.Е.Аствацатуров, И.Г.Чайка. Устройство, показанное на рис.9.8, содержит корпус 1 цилиндрической формы с патрубком 2, снабженным краном 3 для отвода очищенной воды и патрубком 4 с краном 5 для отвода осевших загрязнений. Внутри корпуса 1 размещена камера 6 конусообразной формы, снабженная тангенциально расположенными патрубками 7 с краном 8 для подачи воды на очистку, и патрубком 9 для отвода нефтепродуктов. В нижней части камеры 6 расположены коллектор 10 и патрубок 11 для подачи воздуха, снабженный краном 12.



Работает устройство следующим образом. Корпус 1 заполняется водой до уровня расположения патрубка 2. Сточная вода, содержащая нефтепродукты, подается по патрубкам 7 в камеру 6 и приобретает круговое движение, пронизывается восходящими вверх пузырьками воздуха, исходящими из коллектора 10, и интенсивно разделяется. Всплывшие нефтепродукты концентрируются в верхней зауженной части камеры 6 и отводятся по патрубку 9. Воздух, исходящий из коллектора 10, ускоряет процесс выделения из сточной воды нефтепродуктов, а сужающаяся конусообразная форма камеры 6 обеспечивает их интенсивный отвод.

Рис.9.8. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод
(по а. с. А. Е.,Аствацатурова, И. Г. Чайки)



Управление процессом разделения и отвода нефтепродуктов



Инженерная экология

обеспечивается кранами 3, 5, 8, 12. Устройства для очистки нефтесодержащих сточных вод и техническое средство для очистки сточных вод от механических примесей, разработанные также под руководством автора данной книги, были еще в 70-е годы внедрены в производство на крупных сооружениях. Например, "Устройство для подачи теплоносителя в котел железнодорожного вагона-цистерны" (А. с. № 538928 от 20.08.76, внедрено в Грозненском вагонном депо); "Установка для очистки внутренних и наружных поверхностей железнодорожного вагона" (А.с.№ 569466 от 20.04.77, внедрено на Новороссийском и Орджоникидзевском вагоноремонтных заводах); "Моечная машина для обмывки тяговых двигателей" - внедрена совместно с устройствами для очистки сточных вод на Ростовском ЭРЗ в 1978 г. Все эти устройства до настоящего времени не утратили своих технико-экономических преимуществ.

Для биологической очистки воды применяют метатенки, аэротенки, биологические фильтры. Метатенки представляют собой бродильные камеры, предназначенные для анаэробной очистки - осадки сточных вод с помощью микробов, которые могут жить без доступа воздуха. Аэротенки - это проточные резервуары длиной до 150 м с отстойником, в котором происходит постепенное уменьшение количества органических веществ, азота, нитритов, аммонийных солей путем разрушения их микроорганизмами - минерализаторами.

Биологические фильтры (рис.9.9) - это устройства, напоминающие собой емкости, загруженные сыпучими материалами, через массу которых пропускают воду.

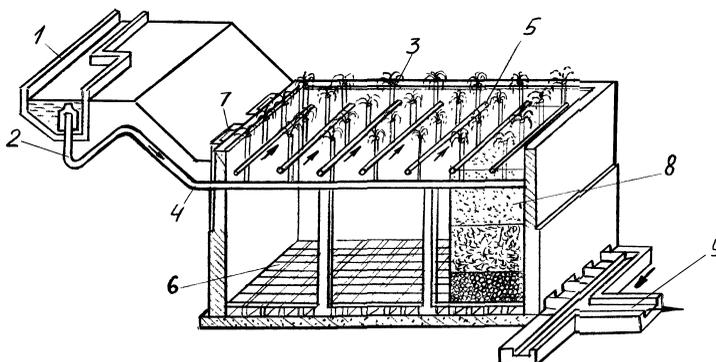


Рис.9.9. Биологический фильтр: 1 – дозирующий бак; 2 – сифон;

3 – спиральная насадка для разбрызгивания; 4 – магистральный трубопровод; 5 – распределительные трубы; 6 – дренаж из плиток; 7 – каналы для входа воздуха в дренаж; 8 – фильтр из шлака;

9 – канал для отвода очищенной воды

В емкости растворенные вещества сточных вод адсорбируют и разрушаются с помощью микробов (т.е. аэробно), которые могут жить в среде, содержащей кислород. На поверхности сыпучих материалов (шлака, щебня) появляется биологически активная пленка. В верхнем слое - до 10 см - развиваются инфузории, личинки, жгутиковые, которые, разрыхляя биологическую пленку, разлагают клетчатку, хитин. В отечественной и зарубежной практике для очистки сточных вод, загрязненных отходами нефти, продуктами ее переработки, маслами, смолами, красителями, продуктами органического синтеза и др., применяют метод флотации. Наиболее эффективная очистка сточных вод может быть достигнута с помощью сооружений напорной флотации.

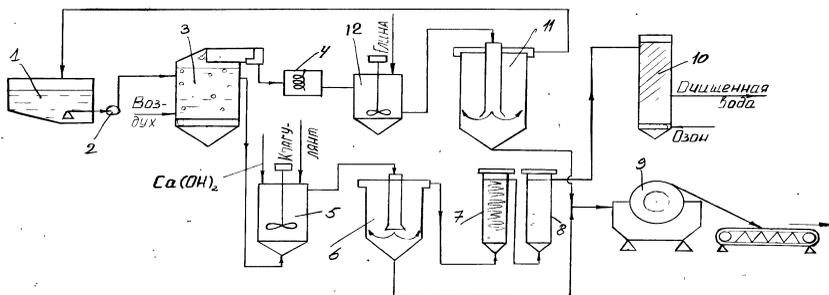


Рис.9.10. Схема очистки сточных вод от ПАВ: I – подвод воды;

II – отвод всплывших загрязнений; III – подвод воздуха;
IV - отвод воздуха;

1- буферный резервуар; 2 – эжектор; 3 – напорный бак; 4- флотационная камера; 5 – насос; 6 – скребковые устройства для сбора пены

Помимо удаления механических примесей, растворенных и коллоидных загрязнений, напорная флотация позволяет растворить в воде достаточное количество воздуха. Технологическая схема очистки сточных вод, содержащих смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ), а также взвешенных и коллоидных примесей показана на рис.9.10. Сточные воды предприятия подаются в усреднитель 1, откуда насосом 2 попадают во флотатор 3. Пена из флотатора поступает в пеногаситель 4, снабженный нагревателем (ускорителем разрушения пены). После сепарации ПАВ сточная вода проходит реактор 5, вертикальный отстойник 6 и угольно-кварцевые фильтры 7, 8. Одновременно пеноконденсат из пеногасителя 4 поступает в реактор 12, в который подается суспензия глины через дозатор. После перемешивания пеноконденсата с глиной (10 мин.) суспензия поступает в отстойник 11. Вакуум-фильтр 9 обезвоживает глиняный шлак из отстойника, а глина может быть утилизирована для производства кирпича. Пройдя озонирование в камере 10, очищенная вода поступает в трубопровод предприятия.



9.3.4. Инженерно-экологический подход к строительству сооружений

Инженерная деятельность может быть признана полезной, если проекты и строительство инженерных сооружений любого уровня учитывают сохранение экологического баланса и обеспечивают безопасность экосистем и, так называемое, рациональное природопользование. Между тем, научно обоснованной взаимосвязи инженерных разработок с лимитирующими факторами природной среды и механизмами саморегуляции экологических систем долгое время вообще не существовало. Инженерные сооружения разрабатывались как бы сами по себе, без учета экологических потерь и деформации в системах биосферы и других сфер.

В период бурного развития современной цивилизации было создано великое множество прекрасных, с точки зрения чисто инженерных позиций, сооружений типа плотин, каналов, водохранилищ и прочих объектов. Однако уровень знаний о водных ресурсах и умение управлять ими не соответствовал требованиям разрешения сложных инженерно-экологических задач. А обращение разработок в чисто инженерные решения, как это показали последующие годы их эксплуатации, привели к постепенному накоплению факторов дисбаланса жизнедеятельности экологических систем. Иначе говоря, в природных качествах биосферы, атмосферы, гидросферы и литосферы стали все чаще появляться факторы, способствующие всяким аномальным, ненормальным для природной среды проявлениям, а затем и экологическим катастрофам. Такие явления, когда деятельность талантливых инженеров приводила впоследствии к экологическим бедствиям, заслуживают особого внимания.

Рост промышленного производства в начале XX века привел к резкому увеличению объемов переброски воды. Появляются крупные инженерные сооружения типа Суэцкого и Панамского каналов, затем такие мощные системы переброски воды, как Большой Ферганский канал в СССР, создавший переброску воды в



Инженерная экология

объеме 6 км^3 в год, канал Москва-Волга - $2,3 \text{ км}^3$ в год, комплекс водоснабжения Нью-Йорка из реки Делавэр - $1,3 \text{ км}^3$ в год и т.п. Только крупные системы переброски воды в СССР давали в сумме около 50 км^3 в год (общая длина их более 3400 км). Всего в СССР по каналам общей протяженностью 4500 км перебрасывалось ежегодно 110 км^3 воды (половина стока Волги). В США суммарный объем переброски воды составляет 30 км^3 в год. Во всем мире в настоящее время объем переброски близок к 3000 км^3 в год.

Для использования водного ресурса стали разрабатываться грандиозные проекты гигантских гидротехнических сооружений, включающих крупные плотины, водохранилища, сверхмощные насосные станции и каскады гидроэлектростанций. Проекты предусматривали переброску воды из одних речных регионов в другие с поворотом речных вод вспять и другие мероприятия на грани фантастики, в том числе проекты перекачки вод, например, из устья Амазонки в Африку и многие другие. Одновременно проводились работы по искусственному воздействию на системы облаков для изменения места выпадения осадков. Такие эксперименты, относящиеся также к деятельности по переброске воды в пространстве и времени, проводились интенсивно в США, СССР, Израиле. Примеров переброски воды в промышленно развитых странах сравнительно много, и они, несомненно, дают определенный социальный и экономический эффект. А вот экологии и окружающей природной среде они нанесли большой вред.

Экологи придерживаются единого мнения, что необходимо больше изучать и углублять знания о водных ресурсах, надо уметь лучше ими управлять, прежде чем поворачивать реки вспять, перебрасывать пресные воды с одного континента на другой или пытаться искусственно воздействовать на системы облаков для получения дополнительных осадков в одной районе мира, которые вполне естественно не выпадут в другом месте (в США известны целые районы, пострадавшие от засухи в результате подобных экспериментов).

Согласно экологической точке зрения, вода представляет собой ресурс, обращающийся во всей экосистеме. Те специалисты, которые считают, что современные проблемы, связанные с



Инженерная экология

наводнениями, переброской и использованием воды могут быть разрешены лишь строительством крупных инженерных сооружений типа больших плотин и других подобных объектов, возможно, хорошо владеют инженерным делом, но очень слабо разбираются в экологии. Отсюда и огромные материальные убытки, и трудно обратимые нарушения экологического равновесия экосистем. Так, на укрощение крупной реки Миссисипи для ограничения ее разливов были затрачены миллионы, а убытки от наводнений возросли. За строительством дамб и урбанизацией водосборного бассейна реки следует еще большее поднятие уровня воды и тем больше вреда наносится при прорывах ограждений и барьеров. Известны огромные убытки, связанные с укрощением Невы, приносящей огромный ущерб в периоды своих разливов со времен основания на этой реке Санкт-Петербурга.

Вывод из сказанного понятен: ни одно крупное сооружение, связанное с использованием водного ресурса, не должно решаться однобоко на основе чисто инженерных разработок. В этих случаях нужен системный инженерно-экологический подход.

Инженерно-экологический подход включает в себе исследование объективных закономерностей и средств взаимодействия сложной техники и окружающей природной среды с целью приложения их к проектированию инженерных сооружений.

9.4. Примеры инженерной защиты от шума

Мы уже познакомились с шумом и его вредным влиянием на человека и окружающую среду. При проектировании технических средств в самой ранней стадии разработки инженер должен решить вопрос, насколько возможно максимально устранить исходное шумовое возмущение. Эффективность любой ограждающей конструкции, используемой в качестве изолятора от шума, характеризуется прежде всего такими показателями, как масса, жесткость, однородность, побочная передача шума, воздушная прослойка в изоляции, однородность. Рассмотрим несколько примеров технических решений защиты от шума.



Инженерная экология

При работе вытяжной системы типа циклон образуется шум, который излучается от стенок вентилятора, трубопровода и циклона, а также непосредственно на впуске и выпуске. Шум возникает при движении воздуха, работе механизмов и от ударов частиц в металлические стенки. Чем крупнее объект (его размеры и масса), тем большую проблему может представлять шум, особенно если скорость потока частиц непостоянна. На рис.9.11 показан пример проведения мероприятий по снижению шума вытяжкой системы типа циклон.

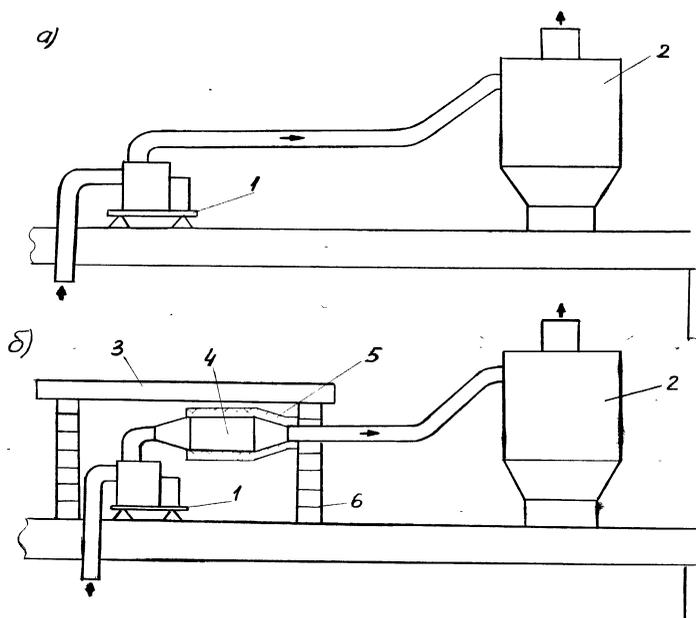


Рис.9.11. Вытяжная система типа циклон:

а - до проведения мероприятий по снижению шума; б - после проведения мероприятий по снижению шума; 1 - вентилятор с радиальным рабочим колесом; 2 - циклон; 3- железобетонная крыша; 4- глушитель; 5 - звукоизоляция; 6 - строительные блоки

Разные формы ограждений от шума для производственного оборудования представлены на рис.9.12. Такая конструкция



обеспечивает максимальный эффект экранирования шума машин, удобство в эксплуатации.

На рис.9.13 показано многослойное звукоизолирующее покрытие, используемое для трубопроводов природного газа с нагнетательной стороны турбинного газа, обеспечивающее снижение шума на 18 дБА. Толщина и масса использованных материалов, показанных на рисунке, подобраны так, чтобы их резонансные частоты не совпадали. Такой подход обеспечивает высокоэффективную звукоизоляцию.

Сложное звуконепроницаемое покрытие для стальной трубы, излучающей шум, включает (рис.9.13): 1 – покрытие из оцинкованной стали толщиной 1 мм; 2 – водонепроницаемую оболочку из поливинилхлорида; 3 – минеральную вату толщиной 50 мм; 4 – свинцовый лист толщиной 2 мм; 5 – минеральную вату толщиной 25 мм; 6 – стальную трубу.

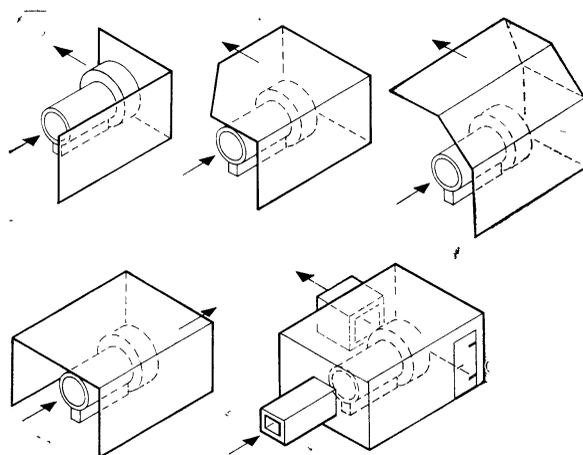
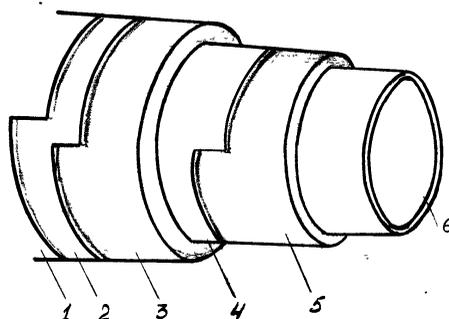


Рис.9.12. Различные конструкции акустического ограждения от шума для производственного оборудования



Рис.9.13. Многослойная изоляция стальной трубы



Желающие углубиться в проектно-конструкторские детали таких и подобных технических средств могут обратиться к специальной литературе.

9.5. Безотходная и малоотходная технологии

9.5.1. Ресурсосберегающие производства

Термин *"безотходная технология"* был предложен академиками Н.Н. Семеновым и И.В. Петряновым и в настоящее время распространен во всех индустриально развитых странах. В соответствии с Декларацией о малоотходной и безотходной технологии ЕЭК ООН: "Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду". Малоотходная технология как промежуточный этап в создании безотходного производства обеспечивает соблюдение предельно допустимых концентраций. При этом уровне часть сырья и мате-



риалов переходит в категорию отходов и направляется на складирование и длительное хранение на полигонах или же захороняется. Безотходная технология понимается как принцип организации и эксплуатации промышленно-производственных комплексов.

В условиях постоянно нарастающего дефицита природных ресурсов особое значение обретает рациональное, комплексное и экономичное их использование. Из этого вытекает необходимость создания промышленных предприятий без выбросов отходов.

Создание промышленных предприятий без выбросов отходов предусматривает систему технологических процессов, обеспечивающих комплексное использование сырья и энергии, при котором будет возможно рационально расходовать природные ресурсы и энергию и защитить окружающую среду от загрязнения и деградации. В основу проектирования производственных предприятий такого типа заложена *технология комплексной обработки сырья*, предусматривающая отделение и переработку всех отходов в готовую продукцию. Создание подобных малоотходных и безотходных технологических процессов и экологических производств осуществляется по следующим направлениям:

- 1) комплексная переработка сырья;
- 2) разработка принципиально новых технологий, технических средств и схем получения известных видов продукции;
- 3) проектирование и внедрение бессточных и замкнутых систем водопотребления;
- 4) рекуперация промышленных отходов;
- 5) разработка и создание регионально-промышленных комплексов с замкнутой структурой динамичных потоков сырья и отходов.

Комплексная обработка сырья включает в себя две основные задачи: бережное расходование богатств природы и уменьшение выбросов отходов в окружающую среду.

Создаются новые эффективные технологические процессы, отличающиеся возможно меньшим числом технологических стадий и оборудования, а также совмещением операций. В черной металлургии успешно используется метод получения железа путем восстановления руд-



ных концентратов водородом или синтез-газом, представляющим смесь H_2 и CO . При этом исключаются стадии доменного передела, производства кокса и агломерата. В цветной металлургии разработана новая технология, в том числе - кислородная взвешенная циклонная электро-термическая плавка. Суть ее в совмещении основных переделов: обжига, плавки, конвертирования штейнов в одном металлургическом агрегате. В химической промышленности внедряются энерготехнологические процессы, создаются агрегаты большой мощности, использующиеся при производстве аммиака. Производительность техники для синтеза аммиака возросла с 60 до 1360 т/сут, разрабатываются новые агрегаты с производительностью до 3000 т/сут с одновременным снижением расхода энергии с 1200 до 40 кВт ч на единицу связанного азота, а расход воды уменьшается с 32 до 8 м³/т. В Японии вместо традиционной регенерации аммиака производят хлористый аммоний, который используется, в частности, как удобрение. В России предложено регенерировать аммиак гидроксидом магния вместо используемого ранее известкового молока. Получаемый хлорид магния можно перерабатывать в металлический магний, окись магния и соляную кислоту. Разработанные технологии получения соды из сульфата натрия и замена аммиака гексаметиленамином значительно повысили коэффициент использования натрия.

Промышленные отходы делят на твердые и жидкие. К твердым относятся отходы металлов, дерева, пластмасс, минеральные и органические осадки в очистных сооружениях; к жидким - осадки сточных вод после их очистки, шламы в очистных устройствах. Древесные и пластмассовые отходы включаются в состав промышленного мусора и выбрасываются на свалки. Металлический лом и отходы обычно подвергаются обработке и повторному использованию, поскольку представляют собой вторичные материальные ресурсы.

Что относят к вторичным материальным ресурсам? Это продукты, которые могут быть использованы после дополнитель-



ной обработки в качестве материалов и сырья. К ним относят: остатки сырья и материалов, образующихся в процессе производства; продукты, получающиеся во время добычи и обогащения полезных ископаемых; материалы, которые получают в результате физико-химической переработки сырья. Отходы потребления состоят из производственных отходов, включающих металлолом, битое стекло, кожу, изношенные шины и пластмассовые изделия и т.п. И отходов бытового потребления, т.е. выбрасываемых пищевых отходов, макулатуры, изношенных промтоваров и т.п. Ликвидация и переработка твердых промышленных отходов (кроме металла) осуществляется путем вывоза и захоронения на полигонах, сжигания и захоронения на свободной территории. Бытовые отходы вывозились и сжигались на открытых площадках. Затем для сжигания мусора использовались печи, которые так же, как дымящие свалки, становились основными источниками загрязнения воздушного бассейна. Напомним об одном из новых, многообещающих направлений в науке и практике, ведущем к решению указанной задачи. В начале 80-х годов в Стенфордском научно-исследовательском институте (США) совместно с местным университетом были выведены особые микробы, способные уничтожить ядовитые отходы. Предполагается, что в перспективе такие микробы, помещенные в специальные замкнутые "биореакторы", будут уничтожать в качестве своей пищи вредные отходы, подаваемые в эти емкости. Возможно, такими микробами будут засеивать особо загрязненные объекты почвы и водоемы.

В настоящее время существует множество способов вторичной переработки различных видов мусора. Наиболее распространенные технологии таковы: макулатуру повторно измельчают в пульпу, т.е. бумажную массу, из которой изготавливают различную бумажную продукцию; стекло размельчают, расплавляют и льют новую тару или используют после дробления в качестве гравия или песка при изготовлении бетона и асфальта; пластмассу переплавляют и изготавливают из нее искусственную древесину, устойчивую к биодegradации и обладающую хорошими прочностными качествами для использования в строительстве.



9.5.2. Рекуперация и утилизация твердых отходов

Рекуперация - это процесс отсортировки и переработки отходов производства и потребления, представляющих собой вторичные материальные ресурсы.

В процессе распределения и обработки промышленных отходов используется стандартная их классификация, которая преследует цель наиболее эффективного использования отходов в качестве вторичного сырья. Например, металлолом и отходы черных и цветных металлов по физическим признакам подразделяются на классы, а по химическому составу - на группы, марки и сорта. Безотходная и малоотходная технологии предусматривают:

1) комплексную переработку сырья с использованием всех его компонентов;

2) создание и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного ее использования;

3) переработку отходов производства и потребления продукции без нарушения экологического равновесия;

4) использование замкнутых систем промышленного водоснабжения;

5) создание в перспективе безотходных производственных комплексов.

По ориентировочным данным, использование промышленных отходов в США составляют свыше 1 млрд. т, в странах Европейского экономического сообщества - более 400 млн. т, в Японии - 260 млн. т в год, в России в начале 90-х годов объем использования вторичных ресурсов в среднем за 5 лет возрос на 3,5 млн. т, в частности, в черной металлургии образование лома и отходов металлов на 1 т выплавленной стали достигает 650 кг. Эти цифры свидетельствуют об особой важности проведения мероприятий по рациональному использованию металлических и других отходов.

Основой комплексного использования сырья и вместе с тем защиты окружающей природной среды от загрязнения является рекуперация, т.е. улавливание и переработка сырья. Разработка и внедрение новейших технологий, новых способов получения товарной продукции из вторичных материальных ре-



сурсов позволяет значительно уменьшить антропогенные воздействия на природную среду. Остановимся на некоторых примерах внедрения новых технологий и методов переработки крупнообъемных отходов.

Твердыми отходами в черной металлургии являются шлаки: сталеплавильные, доменные, ферросплавные. Более 75% ежегодного выхода доменных шлаков (около 50 млн. т в год) используются для производства строительных материалов, шлакопемзы, шлаковаты, различных гранулированных шлаков для покрытия дорог. Из доменных шлаков получают стеклокристаллические материалы с высокими физико-механическими свойствами, эффективно используемыми в строительстве. Строительный материал, получивший название сигран, успешно применяемый вместо гранита и мрамора, разработан и внедрен на основе доменного шлака.

Ежегодный выход золошлаковых отходов от всех видов твердого топлива составляет более 100 млн. т. Зола в отвалах тепловых электростанций, образующаяся при сжигании твердого топлива, успешно используется в промышленности строительных материалов. Такие золы ТЭС получили широкое применение в дорожном строительстве и как заполнители бетонов. Они используются для изготовления золокерамзита, для теплоизоляционных засыпок, в качестве добавок к цементу, для производства глиняного и силикатного кирпича. Как сырье зола в нашей стране используется крайне мало, в Германии например, ее потребление составляет 76%, во Франции - 62%.

К новейшим ресурсосберегающим технологиям относится порошковая металлургия, которая способствует созданию материалов с высокими качествами, причем уменьшает потери сырья и в несколько раз увеличивает коэффициент использования металла. Внедрение этой технологии позволило получить в подшипниковой промышленности ежегодную экономию до 70 тыс. т порошка качественной легированной стали. Только при такой прогрессивной технологии можно получить уникальные пористые (для многократной фильтрации газов, очистки жидкостей), антифрикционные (для выпуска, в частности, надежных в эксплуатации



ции подшипников скольжения, которые не нужно смазывать), тугоплавкие и другие материалы. Изготовленные из них детали увеличивают ресурс работы машин, позволяют снижать вес конструкций, создавать новые образцы техники, успешно действующей при очень большой или низкой температурах, сверхвысоких нагрузках, в агрессивной среде и т.д. Новый способ переработки автомобильных шин также способствует уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Известно, что в мире накоплено большое количество отработанных шин автомобилей. Только в США их выбрасывается ежегодно более 200 млн. шт. Путем переработки из отработанных шин извлекают металл, получают нефтепродукты и кокс. Нефтепродукты используются для изготовления резиновых изделий, а кокс - для получения сажи или активного угля. Новый способ окраски автомобилей в электростатическом поле дал возможность сократить потери краски и уменьшить загрязнение атмосферы.

Утилизация и обезвреживание твердых отходов. ***Не все промышленные отходы находят применение. Часть из них собирают специализированные организации по сбору и утилизации (Главвтормет, Главвторсырье) и передают на переработку, но многие мало- и крупнотоннажные отходы, не нашедшие применения, складывают или захороняют на специально отведенных полигонах.***

Обезвреживание твердых промышленных и бытовых отходов, включая утилизацию осадков, шламов и скопов очистных сооружений, является одной из сложных задач.

Обработка промышленных твердых отходов должна преимущественно проводиться в местах их образования. Это позволяет получить существенную экономию средств за счет сокращения затрат на погрузочно-разгрузочные операции, высвобождения транспорта, сокращения безвозвратных потерь при перевалке и транспортировке отходов.

Первичная обработка металлоотходов включает: сортировку - разделение лома и отходов по видам металла; разделку - очистку от неметаллических изделий; механическую обработку и



Инженерная экология

сортировку с помощью разрезки, рубки, брикетирования на прессовом оборудовании. Для утилизации вторичных металлов на предприятиях с большим количеством металлоотходов (более 50 т в месяц) организуются специализированные участки или цехи для сортировки, брикетирования и пакетирования. Брикетирование производится механическим уплотнением на специальных прессах. Прессование таких отходов, как спиралеобразная стружка, полученная после холодной обработки металла, проводится после ее отжига. Эффективность этого способа в том, что нет необходимости в подготовительных операциях, таких, как размельчение, обезжиривание, отбор неметаллических материалов.

В деревообрабатывающем производстве отходы используют для изготовления товаров культурно-бытового назначения, которые производятся в основном методом прессования. Современный уровень технологии пока не позволяет утилизировать все отходы промышленных производств. Возникает необходимость обезвреживания их, складирования на специальных полигонах или захоронения в грунтах.

Самые простые и распространенные сооружения для обезвреживания отходов - специальные полигоны, где происходит сваливание и анаэробное саморазложение отходов в течение многих лет. На этих полигонах в процессе разложения появляются токсичные газы и фильтраты. Образование таких газов, как метан, сероводород, свободный водород ведет к загрязнению вод и воздуха, создает взрывоопасные смеси. Поэтому подготовке подобных полигонов должна предшествовать специальная гидроизоляция (естественная или искусственная). Вместе с тем, среди не утилизируемых отходов имеются исключительно токсичные, которые не могут быть обезврежены существующими методами. Обработку таких отходов осуществляют на полигонах, соответствующих требованиям действующих в стране санитарных норм и правил (СНиП) и предназначенных для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленности, НИИ и других учреждений. В перечень материалов, подлежащих приему на спецполигоны, включены: ртутьсодержащие и мышьяксодержащие твердые отходы и шламы; отходы, содержа-



Инженерная экология

щие свинец, цинк, олово, никель, кадмий, висмут, кобальт, сурьму и их соединения; цианосодержащие сточные воды; органические горючие, в том числе твердые смолы, отходы пластмасс, оргстекла, остатки лакокрасочных материалов, загрязненные опилки, деревянная тара; жидкие нефтепродукты, не подлежащие регенерации; масла; загрязненные бензин, керосин, нефть, мазут; растворители, эмали, краски, лаки, смолы. Жидкие токсичные отходы отправляются на полигон только после обезвреживания на предприятиях, отходы гальваники предварительно нейтрализуют и упаривают в котлованах, после чего засыпают двухметровым слоем кембрийской глины. Полигон представляет собой крупное предприятие, включающее мониторинговую и физико-химическую лаборатории для анализа состава поступающих отходов и постоянного отбора проб воды.

В число наиболее первостепенных проблем, связанных с захоронениями отходов, входят: 1) вымывание веществ и загрязнение грунтовых вод; 2) образование метана; 3) просадка грунта.



ПОСТСКРИПТУМ

В творчестве А. Эйнштейна основную роль, по крайней мере на эвристическом уровне, играло не "строго научное мышление", состоящее из математических выкладок и интерпретаций результатов конкретных экспериментов, а наглядные образы (например, связанные с распространением света). В своих исследованиях он всегда следовал собственной интуиции и проявлял титаническое упорство в попытках создания Единой теории поля, несмотря на отсутствие какой бы то ни было эмпирической основы и "социального заказа" для такой деятельности в те времена. Вот, что по этому поводу писал сам А. Эйнштейн: "Представляется, что человеческий разум должен свободно строить формы, прежде чем подтвердилось бы их реальное существование. Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ярко показывает, что из голой эмпирии не может расцвести познание. Такой расцвет возможен только из сравнения придуманного и наблюдаемого" (А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., 1965). Путь, начертанный Эйнштейном необходим экологам в эпоху глубокого экологического кризиса. Вместе с тем "там, где нет мечты, люди гибнут" (Т. Миллер), хотя сложности Природы нет конца. Ниже мы приводим простые тезисы предложенные Тейлором и Миллером, нацеленные на переход к экологически устойчивому человеческому обществу, которые предстоит решать нынешнему поколению:

1. Природа не только более сложна, чем мы думаем, но и гораздо сложнее, чем мы можем себе даже представить.

2. По словам Гаррета Хардина, основной принцип экологии в том, "что все в природе взаимосвязано". По той причине, что мы никогда не сможем окончательно понять характер такой взаимосвязи, нам следует действовать в экосфере скромно, стремясь к сотрудничеству, а не к господству над природой. Истинное признание этого потребует пересмотра наших взглядов относи-



тельно главенствующей роли человека.

3. Основой всего является Земля. На Земле есть только потребители материалов. Мы никогда не сможем на самом деле что-нибудь выбросить, так как природные ресурсы настолько взаимозависимы, что использование или неправильное использование одного из них повлияет на другие, причем часто непредсказуемым образом. Это представляет угрозу для общества, расточительно относящегося к ресурсам, но благоприятную возможность для рециркуляции, вторичного пользования и сбережения материальных ресурсов в устойчивом земном обществе.

4. В соответствии с первым законом термодинамики мы не можем получить что-либо из ничего, а в соответствии со вторым законом термодинамики фактически каждое предпринимаемое нами действие оказывает некоторое нежелательное воздействие на окружающую среду. Вследствие этого нет ни малейшей возможности для технологического решения проблемы загрязнения и деградации окружающей среды, хотя использование соответствующих форм технологии может внести вклад в решение данной проблемы.

5. Земные ресурсы и системы вторичной переработки материалов могут выдержать лишь ограниченное число людей и определенный уровень нагрузки. Существует немало свидетельств того, что численность населения уже превысила возможности Земли.

6. В связи с тем, что мы перешли точку перегиба J-образной кривой экспоненциального роста населения, использования ресурсов, загрязнения и деградации окружающей среды, возникла опасность разрушения систем жизнеобеспечения Земли.

7. Наша главная задача должна заключаться в том, чтобы осуществить переход от упрощенного и неустойчивого общества, расточительно использующего ресурсы, к устойчивому обществу,



более гармонично связанному с экологическими циклами и фундаментальными ритмами жизни, которые поддерживают нас и другие виды.

8. Деятельность информированных индивидуумов и коллективов, основанная на комбинации реалистической надежды, экологического понимания и на стремлении стать частью природы, а не обособляться от нее, дает человечеству возможность совершить переход к устойчивому земному обществу.

9. Еще не поздно, еще есть время решить стоящие перед нами сложные, взаимосвязанные проблемы и совершить скорее плавный, а не скачкообразный переход к устойчивому земному обществу, если это действительно заботит достаточно много людей. Решать не "им", решать "нам", и решать как можно быстрее.



ПРИЛОЖЕНИЕ

155 единиц измерения

<i>Меры длины</i>	
<i>Метрические</i>	
1 километр (км)	= 1000 метров (м)
1 метр (м)	= 100 сантиметров (см)
1 сантиметр (см)	= 0,01 метра (м)
1 миллиметр (мм)	= 0,001 метра (м)
<i>Английские</i>	
1 фут (ft)	= 12 дюймов (in)
1 ярд (yd)	= 3 фута (ft)
1 миля (mi)	= 5280 футов (ft)
<i>Перевод метрических мер в английские</i>	
1 километр (км)	= 0,621 мили (mi)
1 метр (м)	= 39,4 дюйма (in)
1 дюйм (in)	= 2,54 сантиметра (см)
1 фут (ft)	= 0,305 метра (м)
1 ярд (yd)	= 0,014 метра (м)
1 морская миля	= 1,85 километра (км)
<i>Меры площади</i>	
<i>Метрические</i>	
1 квадратный километр (кв. км)	= 1 000 000 квадратных метров (кв. м)
1 квадратный метр (кв. м)	= 1 000 000 квадратных миллиметров (кв. мм)
1 гектар (га)	= 10 000 квадратных метров (кв. м)
1 гектар (га)	= 0,01 квадратного километра (кв. м)



Инженерная экология

<i>Английские</i>	
1 квадратный фут (kw. ft)	= 144 квадратных дюйма (kw. in)
1 квадратный ярд (kw. yd)	= 9 квадратных футов (kw. ft)
1 квадратная миля (kw. mi)	= 27 880 000 квадратных футов (kw. ft)
1 акр (ac)	= 43 560 квадратных футов (kw. ft)
Перевод метрических мер в английские	
1 гектар (га)	= 2,471 акра (ac)
1 квадратный километр (кв. км)	= 0,386 квадратной мили (kw. mi)
1 квадратный метр (кв. м)	= 1,196 квадратного ярда (kw. yd)
1 квадратный метр (кв. м)	= 10,76 квадратного фута (kw. ft)
1 квадратный сантиметр (кв. см)	= 0,155 квадратного дюйма (kw. in)
<i>Меры объема</i>	
<i>Метрические</i>	
1 кубический километр (куб. км)	= 1 000 000 кубических метров (куб. м)
1 кубический метр (куб. м)	= 1 000 000 кубических сантиметров (куб. см)
1 литр (л)	= 1000 миллилитров (мл) = 1000 кубических сантиметров (куб. см)
1 миллилитр (мл)	= 0,001 литра (л)
1 миллилитр (мл)	= 1 кубический сантиметр (куб. см)
<i>Английские</i>	
1 галлон (gal)	= 4 кварты (qt)
1 кварта (qt)	= 2 пинты (pt)



Инженерная экология

<i>Перевод метрических мер в английские</i>	
1 литр (л)	= 0,265 галлона (gal)
1 литр (л)	= 1,06 кварты (qt)
1 литр (л)	= 0,0353 кубического фута (ft ³)
1 кубический метр (куб. м)	= 35,3 кубического фута (ft ³)
1 кубический метр (куб. м)	= 1,307 кубического ярда (yd ³)
1 баррель (bbl)	= 159 литров (л)
1 баррель (bbl)	= 42 галлона США (gal)
Меры массы	
<i>Метрические</i>	
1 килограмм (кг)	= 1000 грамм (г)
1 грамм (г)	= 1000 миллиграмм (мг)
1 грамм (г)	= 1 000 000 микрограмм (мкг)
1 миллиграмм (мг)	= 0,001 грамма (г)
1 микрограмм (мкг)	= 0,0000001 грамма (г)
1 метрическая тонна (мт)	= 1000 килограмм (кг)
<i>Английские</i>	
1 тонна (т)	= 2000 фунтов (lb)
1 фунт (lb)	= 18 унций (oz)
<i>Перевод метрических мер в английские</i>	
1 метрическая тонна (мт)	= 2200 фунтов (lb) = 1,1 тонны (т)
1 килограмм (кг)	= 2,20 фунта (lb)
1 фунт (lb)	= 454 грамма (г)
1 грамм (г)	= 0,035 унции (oz)
<i>Меры энергии и работы</i>	
<i>Метрические</i>	
1 килоджоуль (кдж)	= 1000 джоулей (дж)
1 килокалория (ккал)	= 1000 калорий (кал)



Инженерная экология

1 калория (1 кал)	= 4,184 джоуля (дж)
<i>Перевод метрических мер в английские</i>	
1 килоджоуль (кдж)	= 0,949 Британской тепловой единицы (Btu)
1 килоджоуль (кдж)	= 0,000278 киловатт-часа (квт.ч)
1 килокалория (ккал)	= 3,97 Британской тепловой единицы (Btu)
1 килокалория (ккал)	= 0,00116 киловатт-часа (квт.ч)
1 киловатт-час (квт.ч)	= 860 килокалорий (ккал)
1 киловатт-час (квт.ч)	= 3400 Британских тепловых единиц (Btu)
1 квад (Q)	= 1 050 000 000 000 килоджоулей (кдж)
1 квад (Q)	= 2 930 000 000 000 киловатт-часов (квт.ч)
Примерный эквивалент сырой нефти	
1 баррель (bbl) сырой нефти	= 6 000 000 килоджоулей (кдж)
1 баррель (bbl) сырой нефти	= 2 000 000 килокалорий (ккал)
1 баррель (bbl) сырой нефти	= 6 000 000 Британских тепловых единиц (Btu)
1 баррель (bbl) сырой нефти	= 2 000 киловатт-часов (квт.ч)
Примерный эквивалент природного газа	
1 кубический фут (ft ³) природного газа	= 1000 килоджоулей
1 кубический фут (ft ³) природного газа	= 260 килокалорий (ккал)
1 кубический фут (ft ³) природного газа	= 1000 Британских тепловых единиц (Btu)
1 кубический фут (ft ³) природного газа	= 0,3 киловатт-часа (квт.ч)



Примерный эквивалент антрацита	
1 тонна (т) угля	= 20 000 000 килоджоулей (кдж)
1 тонна (т) угля	= 6 000 000 килокалорий (ккал)
1 тонна (т) угля	= 20 000 000 Британских тепловых единиц (Btu)
1 тонна (т) угля	= 6000 киловатт-часов (квт.ч)
Сравнение разных температурных шкал	
шкала Фаренгейта (°F) и Цельсия (°C): $^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 320}{1,80}$	
шкала Цельсия (°C) и Фаренгейта (°F): $(^{\circ}\text{F}) = (^{\circ}\text{C} * 1,80) + 32,0$	



ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде. Пер. с англ. 1985. – 166 с., с ил.
2. Аствацатуров А.Е. Основы инженерной эргономики: учеб. пособие / РГУ. – Ростов н/Д, 1991. – 208 с., с ил.
3. Аствацатуров А.Е. Инженерная эргономика машин / РГУ. – Ростов н/Д, 1987. – 144 с., с ил.
4. Аствацатуров А.Е., Яцухин Ю.А. Вода на пороге в третье тысячелетие / РГУ. – Ростов н/Д, 1992. – 136 с., с ил.
5. Аствацатуров А.Е. Введение в инженерную экологию: Учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1996. – 172 с.
6. Аствацатуров А.Е. и др. Охрана водных ресурсов: Учеб. пособие / под. ред А.Е. Аствацатурова. – Ростов н/Д, 1994. – 192 с.
7. Аствацатуров А.Е. Начала математических обоснований концепции экологической стабильности: - Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 97 с., ил.
8. Аствацатуров А.Е. Философия научного оптимизма в решении планетарных экологических проблем. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 316 с.
9. Аствацатуров А.Е., Паламарчук С.А. Инженерная экология и охрана окружающей среды. Краткий словарь терминов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004.
10. Баландин Р.К. Время – Земля – Мозг. – Минск, 1973. – 240 с., с ил.
11. Беккер А.А., Агаев Т.Е. Охрана и контроль загрязнений природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1989. – 285 с.
12. Биосфера. – М.: Мир, 1972. – 182 с.
13. Бродский А.К. Краткий курс общей экологии: Учеб. пособие, СПб: Госуниверситет, 1992.
14. Вернадский В.И. Биосфера // Избр. соч. Т. 5. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 540 с.
15. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.



Инженерная экология

16. Войткевич Г.В., Вронский В.А. Основы учения о биосфере: Учеб. пособие для вузов. – Ростов н/Д, 1996. – 480 с.
17. Воробейчик Е.Л. и др. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. – Екатеринбург: Наука, 1994.
18. Вронский В.А. Экологический словарь справочник. – Ростов н/Д, 1994.
19. Вронский В.А. Прикладная экология: Учеб. пособие. – Ростов н/Д, 1996. – 480 с.
20. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Экология для технических вузов / Под ред. В.И. Колесникова, Ростов н/Д, 2001. – 384 с.
21. Гвишиани Д.М. Методологические проблемы моделирования глобального развития. Сер. Общество и природная среда. – М., 1980. – 270 с.
22. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. Пер. с польск. – М., 1982. – 256 с., с ил.
23. Журавлев В.П., Мечик В.Л. Охрана окружающей среды: Учеб. пособие. – Ростов н/Д; РИСИ, 1992.
24. Защита окружающей среды от технических воздействий: Учеб. пособие / Под. ред. Г.В. Невской, - М.: МГОУ, 1993.
25. Игнатов В.Г., Кокин А.В., Батулин Л.А. Сбалансированное природопользование: Учеб. пособие. – Ростов н/Д, 1999. – 432 с.
26. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д, 2000. – 576 с.
27. Куражковский Ю.Н. Основы всеобщей экологии. – Ростов н/Д, 1992. – 144 с.
28. Легасов В. Проблемы безопасного развития техносферы.
29. Мазур И.И. и др. Шанс на выживание: экология и научно-технический прогресс. – М.: Наука, 1992.
30. Марчук Г.И. Приоритеты глобальной экологии (РАМ, комиссия по проблемам экологии). – М.: Наука, 1992.
31. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. – М., 1990. – 351 с., с ил.
32. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и



Инженерная экология

- биосфера. Опыт системного анализа и эксперимента с моделями. – М.: Наука, 1985. – 272 с.
33. Мотузко Ф.Я. Основы экологии: Учеб. пособие. Московский институт радиотехники. – М.: МИРЭА, 1994.
 34. Новочельцев В.Н. Организм в мире техники. Кибернетический аспект. – М., 1989. – 240 с.
 35. Общая биогеосистемная экология / Н.В. Стебаев и др. Новосибирск: Наука, 1993.
 36. Одум Ю. Экология. В 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с., с ил.
 37. Охрана окружающей среды: Учеб. пособие / В.П. Журавлев, С.П. Пушенко и др.; Рос. комитет РФ по высшему образованию. – Ростов н/Д; РГАСМ, 1994.
 38. Охрана окружающей природной среды: Учебник / Под ред. С.В. Белова. – М.: Высш. Шк., 1991. – 319 с.
 39. Охрана окружающей среды в агломерационном производстве / А.К. Елисеев, В.В. Мартыненко и др. – М.: Металлургия, 1994.
 40. Приваленко В.В. Геохимическая оценка экологической ситуации в г. Ростове-на-Дону. – Ростов н/Д: Геоинформ, 1993. – 167 с.
 41. Рац М.В. Что такое экология или Как спасти природу. – М.: центр "Касталь", 1993.
 42. Реймарк Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Словарь справочник. – М.: Просвещение, 1992.
 43. Родзин В.И., Семенцов Г.В. Основы экологического мониторинга / Под ред. Н.Г. Малышева. – Таганрог: ТРТИ, 1988. – 260 с., с ил.
 44. Розин В.М. Философия техники: Учеб. пособие для вузов. – М., 2001. – 456 с.
 45. Рунова Т.Г. и др. Территориальная организация природопользования. – М.: Наука, 1993.
 46. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология: Учеб. пособие для химико-технологических вузов. – М., 1988. – 272 с.
 47. Тищенко Н.Ф. и Тищенко А.Н. Охрана атмосферного воздуха: справочник в двух частях. – М.: Химия, 1993.



Инженерная экология

48. Экологический словарь / Сост. С. Делетницкий и др. – М.: Конкорд, 1993.
49. Философия техники в ФРГ: Пер. с нем и англ. / Составление и предисловие Ц.Г. Арзаканян и В.И. Горохов. – М.: 1989. – 528 с.
50. Харуенко Н.А. и др. Справочник понятий и терминов по экологии. – Воронеж: ВГУ, 1992.
51. Хрусталеv Ю.П., Матишов Г.Г. Эколого-географический словарь / Кольский НЦ РАН. – Петрозаводск, 1996. – 142 с.