

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**В.Ф. Панин, С.В. Романенко,  
А.А. Сечин, А.И. Сечин**

**ВВЕДЕНИЕ В ЗАЩИТУ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 574  
П16

**Панин В.Ф.**

П16 Введение в защиту окружающей среды: учебное пособие / В.Ф. Панин, С.В. Романенко, А.А. Сечин, А.И. Сечин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 176 с.

В пособии рассматриваются причины Глобального экологического кризиса как главного стимулятора современной природоохранной деятельности человека, масштабы экологических проблем научно-технического прогресса, концепция устойчивого развития как инструмент преодоления экологического кризиса, нормативно-правовые основы защиты окружающей среды, основные направления инженерной защиты окружающей среды от химических и физических загрязнений, система управления качеством окружающей природной среды, международное сотрудничество в этой области.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 280700 «Инженерная защита окружающей среды».

УДК 574

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор  
начальник департамента природных ресурсов и охраны  
окружающей среды Администрации Томской области  
*А.М. Адам*

Доктор химических наук, профессор  
заведующий кафедрой химии ТГАСУ  
*П.В. Зибарев*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011  
© Панин В.Ф., Романенко С.В.,  
Сечин А.А., Сечин А.И., 2011  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## Введение

Недооценка важности понимания и учета закономерностей взаимодействия человека и природы была характерна во все времена существования человечества. И это всегда приводило к негативным последствиям и для человека, и, в особенности, для окружающей природной среды. Однако в двадцатом веке, точнее, во второй его половине, масштабы человеческой (антропогенной) деятельности приобрели столь значимые масштабы, что эти негативные последствия стали совершенно очевидными в течение жизни одного поколения. Начались необратимые изменения в окружающей природной среде, так что под угрозой оказалось само существование человечества.

Человеческая промышленная, сельскохозяйственная, бытовая деятельность проявляет себя во все большей мере во всех геосферах: атмосфере, гидросфере, литосфере. Так, в 1990г. в Российской Федерации выбросы вредных веществ в атмосферу составили 65 млн. тонн, в том числе 21 млн. тонн – от автомобильного транспорта, сброс загрязненных стоков в водоемы составил 27,8 млрд. кубических метров, нарушено 119 тыс. га земель. В последующий период в стране произошло ощутимое снижение экологической нагрузки на окружающую среду из-за уменьшения выпуска промышленной и сельскохозяйственной продукции - в связи с трудностями перехода к рыночной экономике. Но и в условиях экономической депрессии на один квадратный километр территории Российской Федерации в течение года только от стационарных источников выбрасывается более тонны загрязнителей, а на каждого жителя страны приходится более 160 кубических метров загрязненных стоков, сбрасываемых в водоемы.

По финансированию природоохранных мероприятий Российская Федерация и в бывшем СССР, и в настоящее время значительно – во многие разы – уступает ведущим странам Западной Европы и Америки. Результатом этого является все возрастающее давление практически всех отраслей народного хозяйства на природную среду. Так, например, на нефтегазовых промыслах Западной Сибири – важнейшем для экономики всей страны секторе топливно-энергетического комплекса – ежегодно происходит около двух тысяч прорывов нефтепроводов, в связи с чем происходит утечка до 100 тысяч тонн нефти и загрязняется более 500 гектаров земель в год, производится массовое “холостое” сжигание попутного нефтяного газа в факелах. Нефтегазовой промышленности необходима замена не менее 70% изношенных трубопроводов, большая часть которых была смонтирована с наруше-

нием технологии. Это приводит к авариям, подобным прорыву нефтепровода в Иркутской области в 1995 г., когда в почву вылилось 4 тысячи тонн нефти, или прорыву нефтепровода на дне реки Белой, когда тысячи тонн нефти попали в реку, создав угрозу всей экосистеме реки Волги.

Разумеется, существуют “аварийные” мероприятия по защите объектов природной среды, осуществляемые в чрезвычайных ситуациях, подобных только что упомянутым. Но такие ситуации – только надводная часть “всего айсберга” непрерывного и все возрастающего, но “тихого”, т.е. без прорывов и взрывов, воздействия на природную среду химических и физических факторов деятельности человека.

Развивая все новые и новые технологические инициативы, человек, чаще всего, и не подозревает или не задумывается о вредных последствиях внедрения новых машин, веществ, процессов. Так случилось с применением электрической энергии, и сегодня самые известные исследователи влияния электромагнитных излучений на организм растения, животного, человека не решаются сделать определенные выводы о последствиях повсеместного использования электромагнитных излучений во всех сферах жизни, например, в мобильной связи. Или другой пример. За изобретение пестицида – препарата ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) – и его применение для борьбы с сельскохозяйственными вредителями его создатель получил Нобелевскую премию. А много лет спустя обнаружено, что данный препарат чрезвычайно токсичен для всего живого и очень опасен для человека

Масштабная хозяйственная деятельность человека вызывает не только локальные, но и планетарные (глобальные) эффекты. Один из них – “парниковый эффект”, выражающийся в повышении температуры на Земле в результате выброса в атмосферу предприятиями, автотранспортом, коммунальным сектором огромных масс углекислого газа. Этот “лишний” для биосферы газ не может быть поглощен растительным миром Земли. Тем более что идет постоянное сокращение площади лесов. Феномен “парникового эффекта” настолько серьезен, что все обостряющиеся дискуссии по нему ведутся в течение десятилетий и в наши дни, похоже, входят в стадию апогея, например, на Конференции ООН по проблемам климатических изменений (Копенгаген, декабрь 2009г.). Эта конференция должна была утвердить так называемый Копенгагенский протокол по изменению климата (взамен Киотского протокола 1997 года). Он предусматривает сокращение выброса диоксида углерода, обеспечивающее ограничение повышения температуры атмосферы Земли двумя градусами. Однако на самой конференции была распространена конфиденциальная информация о

том, что реализация предложений по сокращению выбросов, подготовленных для согласования (так, Евросоюз планировал сократить выбросы CO<sub>2</sub> в 2020 г. по сравнению с 1990 г. на 30%, Австралия – на 24%, Россия – на 25%, Япония – на 25% и т.д.), вызовет повышение температуры минимум на 3°С, что приведет к затоплению более 170 млн. человек и голоду 550 млн. человек. Из-за разгоревшейся в связи с этим острой дискуссии дальнейшее согласование Протокола фактически было перенесено в Бонн на лето 2010 года с последующим продолжением в Мексике в декабре 2010 года. Процесс согласования «заданий» по выбросам для разных стран продолжается.

К сожалению, проблема изменения климата Земли из-за выбросов парниковых газов – лишь одна из многих, связанных с развитием экологического кризиса.

В целом, осознание человеком реальности надвигающегося кризиса и его возможных последствий имеет свою историю. Еще в 1948 г. Генеральная Ассамблея ООН, принимая Всеобщую Декларацию о правах человека, не сочла уместным заявить об его праве на благоприятную окружающую среду, поскольку в этот период времени отрицательное воздействие уже загрязняющейся окружающей среды на здоровье человека было выражено относительно слабо и системно не обозначено. Хотя уже в это время отмечались отдельные выступления выдающихся ученых (В.И.Вернадский, Н.Бор и др.) о том, что «победное» шествие научно-технического прогресса неизбежно приведет к катастрофическому ухудшению условий существования человека в среде обитания. И даже «простой» человек к концу первой половины 20 века уже мог обнаружить резкое ухудшение качества среды обитания на протяжении своей жизни. Нужен был прецедент, после которого тревожные предчувствия о надвигающемся неблагополучии в окружающей среде перешли бы в системное осмысление реалий и в активные действия по устранению этих тенденций. И прецедент – в виде Лондонского смога 1952 г. – не замедлил явиться. И лед тронулся: началось все более осознаваемое обществом его драматическое противоборство с разрушительной индустриальной деятельностью человека. Начались системные исследования выбросов, сбросов, твердых отходов предприятий, процессов распространения загрязнений в атмосфере, в почвах, в поверхностных и подземных водах, их предельно-допустимых концентраций, исследования в области нормирования выбросов и сбросов, размещения отходов, очистных сооружений, малоотходных технологий, формирование нормативно-правовой базы охраны окружающей среды и природопользования.

В условиях постоянно усиливающегося техногенного давления на

биосферу внимание к вопросам защиты окружающей среды стало переходить на уровень парламентов, правительств, международных организаций. Так, Акт о чистом воздухе в Великобритании был принят уже в 1956 г., а в 1962 и 1968 г.г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюции, соответственно, об экономическом развитии и охране природы и о важнейшей роли благоприятной окружающей среды для соблюдения прав человека и надлежащего экономического и социального развития.

Кульминацией мирового движения по преодолению глобального экологического кризиса стала Конференция ООН по окружающей среде и развитию в г. Рио Де Жанейро в 1992 г. На ней была принята концепция устойчивого развития мирового хозяйства, которая до настоящего времени является для правительств, международных и национальных природозащитных организаций, отдельных предприятий руководством при осуществлении мер по преодолению глобального экологического кризиса.

Задачи подготовки бакалавров и магистров по направлению 280200 “Защита окружающей среды” сконцентрированы, прежде всего, на изучении химических и физических процессов, на основе которых осуществляются современные и перспективные принципы, методы, средства защиты биосферы, получении опыта расчетов, проектирования, эксплуатации средств экозащиты. Как следует из изложенного выше, бакалавру и магистру направления 280200 необходим также целый спектр знаний в области истории природозащитного движения, нормативно-правовых основ защиты окружающей среды, природозащитного и природоресурсного законодательства, экономики, экологического управления, экологии, промышленной экологии и других знаний.

В контексте выше изложенного в учебной дисциплине “Введение в защиту окружающей среды” рассматриваются следующие темы.

Причины глобального экологического кризиса.

Экологические проблемы научно-технического прогресса.

Нормативно-правовые основы защиты окружающей среды.

Основные направления защиты атмосферного воздуха от антропогенных выбросов загрязняющих веществ.

Основные направления защиты гидросферы от антропогенных загрязнений.

Уменьшение загрязнения окружающей среды твердыми отходами. Принципы защиты окружающей среды от энергетических загрязнений.

Контроль и управление качеством окружающей среды.

# Глава 1. Причины глобального экологического кризиса

## 1.1. Нарушение естественных циклов круговорота веществ в биосфере

Процессы фотосинтеза органического вещества на Земле продолжают сотни миллионов лет. Поскольку запасы химических элементов на Земле конечны, то за миллионы и миллиарды лет их ассимиляции они, казалось бы, уже должны быть исчерпаны. Однако этого не происходит.

Химические вещества Земли потому неисчерпаемы, что они вовлечены в процессы биохимического круговорота.

Выделяют два основных круговорота: большой – геологический и малый – биотический.

Геологический круговорот имеет цикличность, измеряемую миллионами лет, и заключается в выветривании горных пород, их вымывании в Мировой океан, частичном возврате с осадками, перемещениями морей и океанов, другими тектоническими изменениями и т.п.

Биотический круговорот состоит в том, что усваиваемые растениями «косные вещества» после прохождения по трофическим цепям снова попадают в неживую природу и опять становятся готовыми для усвоения растениями.

Все вещества, участвующие в биотическом круговороте, подразделяются на макротрофные и микротрофные. К макротрофным веществам относятся те, которые необходимы организмам в большом количестве (кислород, углерод, фосфор, калий, водород, кальций, сера, магний и т.д.). К микротрофным веществам относятся те, которые требуются организмам в очень малых количествах. Микротрофные вещества называются микроэлементами. Хотя они потребляются организмами в очень малых количествах, без них жизнедеятельность организмов невозможна.

Рассмотрим несколько примеров круговорота веществ.

### К р у г о в о р о т   у г л е р о д а

Углерод участвует как в большом, так и в малом круговоротах. Углерод атмосферы (его содержание там составляет  $23,5 \cdot 10^{11}$  т) служит сырьем для фотосинтеза растений. Углерод возвращается в атмосферу через дыхание растений и животных. Часть его накапливается в осадочных породах в виде мертвой органики (уголь, нефть, газ, торф). Часть этих веществ человек использует в химических производствах, поэтому возникает третий круговорот углерода - биолого-технический.

В малом круговороте наряду с углеродом атмосферы участвует углерод растительности (его содержание  $5 \cdot 10^{11}$  т) и животных ( $5 \cdot 10^9$  т). Время полного переноса атмосферного углерода равно примерно восьми годам.

В большом, геологическом, круговороте принимает участие углерод карбонатных отложений дна океана ( $13 \cdot 10^{15}$  т), кристаллических пород ( $10 \cdot 10^{15}$  т), каменного угля и нефти ( $3,4 \cdot 10^{15}$  т).

#### К р у г о в о р о т а з о т а

Азот, составляет 78% атмосферного воздуха. Часть его, кроме того, содержится в воде и почве, а часть - в органических соединениях растений и животных.

В малом круговороте после гибели живых организмов или при экскреции (а также из остатков пищи) бактерии вырабатывают азотистые соединения: аммонийные, нитратные, нитритные и др. Часть их усваивается растениями, а часть восстанавливается до оксида азота и свободного азота атмосферы. Часть свободного азота почвы усваивается растениями с помощью клубеньковых бактерий.

Время биологического круговорота атмосферного азота составляет примерно 110 лет.

#### К р у г о в о р о т ф о с ф о р а

Фосфор - важный элемент клеточных мембран, скелета животных, систем переноса энергии (АДФ, АТФ). Избыточное поступление фосфора в воду с удобрениями, моющими средствами (детергентами) приводит к процессам эвтрофикации. Усвоение фосфора растениями значительно зависит от кислотности фосфорного раствора. В воде фосфаты кальция и натрия малорастворимы, а в кислотной среде преобразуются в хорошо растворимую фосфорную кислоту.

#### К р у г о в о р о т в о д ы

Основа круговорота воды - это испарение и конденсация, а также истечение подземных вод и обратное поступление воды в почву.

#### К р у г о в о р о т к и с л о р о д а

Время круговорота атмосферного кислорода составляет примерно 2500 лет.

Вмешательство человека в круговорот веществ нарушает эти процессы. Вырубка лесов, повреждение ассимиляционного аппарата растений избытком загазованности и запыленности атмосферы, избыток органических и минеральных веществ в воде от промышленных стоков, использование детергентов ведут к нарушению естественных циклов круговорота веществ, изменению их длительности и амплитуды по сравнению с естественными природными, к которым генетический аппарат живых организмов приспособился за миллионы лет эволюции. Поскольку скорость нарушений циклов круговорота очень высока, организмы (виды) с малой толе-

рантностью к нарушениям циклов деградируют и прекращают существование; растет скорость исчезновения видов и упрощения (обеднения) экосистем, которые, таким образом, теряют устойчивость, деградируют и гибнут. **Значит, антропогенное нарушение естественного круговорота веществ в биосфере – одна из причин всеобщего экологического кризиса.**

## 1.2. Помехи в биогеоценозах

### 1.2.1. Обратная связь в экосистемах

Установлено, что все компоненты экосистем обмениваются между собой информацией: химической, энергетической, генетической, этологической. Этот обмен происходит по специфическим каналам передачи информации.

Сбалансированность, устойчивость биотического круговорота обеспечивается механизмами обратной связи. Сущность действия механизма обратной связи заключается в том, что после действия входного сигнала изменяется контролируемый показатель на выходе системы. Это изменение передается в механизм управления так, чтобы усилить (повторить) входной сигнал (воздействие) или, наоборот, уменьшить его (или дать параллельный сигнал противоположного воздействия). Если увеличение выходного показателя приводит к такой подаче управляющего сигнала, которая приводит к дальнейшему увеличению показателя, то говорят о положительной обратной связи (ПОС), в противном случае - об отрицательной обратной связи (ООС). Схематично система управления (СУ) с помощью обратной связи изображена на рис. 1-1.



Рис. 1-1. Система управления с обратной связью

Очевидно, что положительная обратная связь стремится вывести систему из состояния равновесия.

Действие механизмов обратной связи в природных системах можно иллюстрировать следующими примерами.

Пример 1. Объект управления – популяция гусениц. Управляющая обратная связь - птицы.

Увеличение численности гусениц означает увеличение объема корма для птиц. Это приводит к увеличению популяции птиц. Увеличенная популяция птиц поедает расплодившихся гусениц, снижая их количество. Дей-

ствуется механизм ООС.

Пример 2. Объект управления – популяция зайцев. Управляющая обратная связь – лисы.

Увеличение численности зайцев (например, из-за улучшения внешних условий) увеличивает численность лис, а уменьшение – из-за ухудшения внешних условий, например, в связи с интенсивным распространением гербицидов в ареале обитания экосистемы “зайцы – лисы” – приведет к снижению потенциального объема корма для лис и, как следствие, к снижению численности их популяции. Налицо действие механизмов ОС.

Для природных систем характерно действие механизмов отрицательной обратной связи. Такие механизмы обеспечивают устойчивость природных экосистем.

Можно заметить, что в природных системах действуют также механизмы естественного отбора, которые способствуют улучшению качества популяций. Например, лисы поедают, как правило, наиболее слабых, больных представителей популяции зайцев. Таким образом, в естественных природных системах механизмы обратной связи не только поддерживают равновесие экосистем, но и повышают их качество.

### **1.2.2. Помехи в экосистемах**

При некоторых условиях обратная связь, т.е. передача информации, может быть нарушена. К таким нарушениям в предыдущих примерах могут быть отнесены уменьшение численности птиц или лис из-за ухудшения погодных условий, болезней, действия гербицидов. Те изменения, которые вызываются естественными природными причинами, как правило, носят характер случайных помех. Обычно такие помехи приводят к усилению действия механизмов естественного отбора, отбраковывая наиболее слабых представителей популяции, являясь, таким образом, положительным фактором эволюции.

Чем сложнее экосистема, тем больше видов в ее составе, длиннее трофические связи, сложнее их взаимосвязи, больше резервирующих связей, сложнее связи с геосистемой. Природные экосистемы являются открытыми системами. Они получают информацию из внешней среды. Эта информация стремится вывести систему за пределы, обеспечивающие ее выживание, поэтому в ходе естественного отбора эволюция видов происходит в направлении приспособления к новым условиям. Необходимо лишь, чтобы приспособительные возможности видов успевали за изменением внешних условий.

Теоретические исследования больших систем и экспериментальные исследования экосистем показали – чем сложнее экосистема, чем она организованнее, тем больше ее устойчивость к действию помех.

Практически все экосистемы получают возмущения, вызываемые антропогенной деятельностью. В отличие от стихийных природных процессов человек создает не случайные, а направленные помехи в механизмах обратной связи между компонентами системы. Эти помехи не являются инструментами естественного отбора, они появляются, как правило, внезапно, идут с большой скоростью, и виды к ним обычно не успевают приспособляться. Скорость исчезновения видов непрерывно возрастает. Экосистемы обедняются, а, следовательно, теряют устойчивость, деградируют, гибнут.

Например, применение гербицидов вносит помехи в биогеоценоз, приводя к гибели травы. С гибелью травы исчезают экологические ниши для насекомых. Оказывающиеся в неблагоприятных условиях для получения и обмена информацией особи вымирают, или у части их появляются генетические изменения, ухудшающие наследственность. Одновременно гибель травы представляет собой типичный случай внезапного ухудшения “внешних условий”, обозначенных в примере 2 раздела 1.2.1. Уменьшение кормовой базы зайцев в экотопе может быть столь значимым, что экосистема “зайцы – лисы” выйдет за пределы своей устойчивости и погибнет.

Все помехи можно подразделить на частичные и предельные. Борьба с насекомыми-вредителями, отстрел части животных представляют собой примеры частичных помех. Такие помехи затрагивают лишь отдельные звенья экосистемы, не нарушая ее в целом. Повышение содержания пыли и вредных веществ в воздухе воздействует сразу на все звенья экосистемы и угнетает все ее виды, поэтому их следует отнести к предельным.

Помехи также подразделяются на локальные и глобальные. К первым относятся такие помехи, которые действуют на ограниченной территории. Вторые же приводят к разрушению биосферы в целом. К ним, например, относятся общее потепление на планете, сокращение площади лесов Земли и т.п.

В связи с тем, что определенное количество вредных веществ в окружающей среде присутствовало всегда, в начале антропогенной деятельности их добавление к естественным количествам заметно не проявлялось. Механизмы приспособления живых организмов выдерживали дополнительные нагрузки. Однако резкое усиление промышленной деятельности людей без учета экологических последствий, особенно характерное для последнего столетия, привело к повсеместному и быстрому нарушению биогеоценозов.

Создаваемые в природных экосистемах помехи можно классифицировать по уровням их воздействия: клеточно-молекулярный, уровень организма, уровень экосистемы (биогеоценоза), уровень биосферы. Отрицательное влияние антропогенной деятельности начинается с проявле-

ния на молекулярном уровне, в клетках животных и особенно растений. Воздействию подвергаются системы, регулирующие поступление загрязняющих веществ. Они не справляются с очисткой клеток от загрязнителей. Далее повышенные нагрузки не выдерживают системы, отвечающие за биохимические реакции фотосинтеза, дыхания и передачи энергии и информации. Это постепенно приводит к воздействию на растение в целом, а затем и на фитоценоз, на продуктивность сельскохозяйственного производства и другие биоценозы.

Таким образом, прежде всего, влияние помех в экосистемах проявляется в их воздействии на растительность.

### 1.2.3. Биохимические и клеточные эффекты

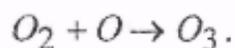
Наиболее отрицательное воздействие на клеточном уровне оказывают следующие загрязняющие вещества атмосферы: диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), фториды, озон ( $\text{O}_3$ ). Механизм их действия на клетки растений примерно одинаков. Рассмотрим его на примере диоксида серы.

Диоксид серы прежде всего воздействует на клетки, регулирующие открывание устьиц - пор в листьях, регулирующих газообмен. При малых концентрациях диоксида серы активность устьиц даже несколько повышается, но при больших концентрациях устьица закрываются. Заметим, что различные виды растений по-разному реагируют на одни и те же концентрации.

Попав в межклеточное пространство листа, диоксид серы реагирует с клеточной перегородкой, нарушая ее целостность. Как следствие, нарушаются условия сохранения баланса питательных веществ. Пройдя в клетку, диоксид серы реагирует с хлоропластами, особенно с их мембранами, вызывая их набухание. При продолжительном действии загрязнителя хлоропласты вздуваются и отмирают. Внешне это проявляется в увядании и последующем засыхании листа.

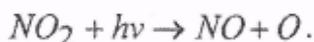
Установлено, что даже при сравнительно малых концентрациях диоксид серы воздействует на ферменты хлоропластов, такие как хлорофиллаза, приводя к их дезактивации.

Действие загрязнителей на клеточном уровне помимо поверхностного действия на устьица листьев связаны с фотохимическими реакциями окисления. Их активными реагентами является, прежде всего озон, образующийся в результате взаимодействия молекулярного кислорода с атомарным кислородом:

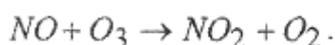


Атомарный кислород образуется под действием некоторых загрязнителей. К ним, в первую очередь, следует отнести диоксид азота. Воздейст-

вие солнечного света (световой квант, или фотон –  $h\nu$ ) вызывает протекание реакции



При этом монооксид азота быстро окисляется озоном до диоксида азота



Имеется широкая группа углеводородов (не относящаяся к метановому ряду), которые также вступают в фотохимические реакции. Они называются оксидантами. Условия их действия схожи по характеру и эффекту, а сами они появляются вместе с озоном, поэтому можно под концентрацией оксидантов всегда подразумевать эквивалентную концентрацию озона.

Исследования показывают, что при концентрациях оксидантов около  $0,05 \text{ млн}^{-1}$  ( $100 \text{ мкг/м}^3$ ) меняется структура листьев у отдельных видов растений. Концентрации выше  $0,1 \text{ млн}^{-1}$  вызывают у человека раздражение слизистой оболочки глаз, а при концентрации  $0,25 \text{ млн}^{-1}$  обостряются респираторные заболевания.

Фотохимическое загрязнение воздуха оксидантами почти исключительно происходит от выхлопных газов автомашин.

#### 1.2.4. Воздействие на уровне организма

После того как повреждению подвергается значительное количество клеток, симптомы становятся видны невооруженным глазом. Они, как правило, схожи для разных типов загрязнителей, а также похожи на действие некоторых других отклонений параметров окружающей среды: низких температур, недостатка влаги, результатов химической обработки.

Относительная чувствительность различных растений к загрязняющим веществам различна. Особый интерес представляют виды, наиболее чувствительные к специфическим загрязнителям. Так, к диоксиду серы наиболее чувствительны люцерна, ячмень, хлопок, пихта, соя, сосна, пшеница, к фторидам – гладиолусы, персики, сосна, зверобой, к озону – соя, белая сосна, люцерна, ячмень, фасоль, картофель, ясень, овес, шпинат, пшеница, табак. Как видно, наиболее чувствительными являются травы.

Например, уже при концентрации диоксида серы  $0,3-0,5 \text{ млн}^{-1}$  и ее действии в течение 2-3 часов у люцерны появляются симптомы повреждения. Для сои такой же эффект проявляется при концентрациях  $3 \text{ млн}^{-1}$ . Действие фторидов проявляется у наиболее чувствительных видов растений при концентрациях менее  $10 \text{ млн}^{-1}$ . В то же время большинство растений способны накапливать в листьях концентрации фторидов до  $100-200 \text{ млн}^{-1}$  без отрицательных последствий (например, чай). Действие озона прежде всего сказывается на белой сосне (при концентрации

0,05 млн<sup>-1</sup> и длительности воздействия 2 часа), сое (при концентрациях 0,05-0,1 млн<sup>-1</sup>). Для люцерны, ячменя, фасоли и картофеля озон начинает проявлять свое действие при концентрациях 0,1 млн<sup>-1</sup>, а при повышении концентрации до 0,25 млн<sup>-1</sup> для гибели растения достаточно его действия в течение одного часа.

Определение чувствительности видов к своим загрязнителям - очень важная экологическая задача. Это важно также потому, что чувствительные виды имеют часто небольшой ареал обитания и необходимо знать, концентрации каких загрязняющих веществ на этих территориях надо контролировать особенно тщательно.

Наиболее чувствительные виды можно использовать в качестве индикаторов появления загрязнителей. Химические способы определения концентраций, особенно малых, могут быть дороги, иметь низкую точность. Дискретность их применения может не выявить разовые повышения концентрации. Культивирование растений-индикаторов, особенно в зонах, где имеется вероятность выбросов специфических загрязнителей, может явиться более эффективным способом контроля за состоянием окружающей среды. Естественно, то же относится и к чувствительным представителям фауны, и к водной среде.

Важно отметить, что среди всех растений наиболее чувствительными к загрязнителям являются лишайники. Это привело к созданию метода лишайноиндикации, т.е. к использованию лишайников для контроля за загрязнением природы.

Наиболее чувствительные виды растений давно уже исчезли в городских и промышленных районах и чем дальше, тем больше сужается ареал их обитания.

Степень воздействия загрязняющих веществ (ксенобиотиков) на живые организмы характеризуют три показателя:

1) Доза действия. Это интегральная характеристика концентрации загрязняющего вещества и длительности его действия

$$D = \int_t c dt;$$

2) Максимальная (пиковая) концентрация -  $c_{\max}$ . В дополнение к этому следует учитывать частоту появления пиковых концентраций;

3) Средняя концентрация за определенный промежуток времени

$$c_T = \frac{1}{T} \int_0^T c dt.$$

Повреждения растений и, в первую очередь, их листьев разделяют на

хронические и острые. При долгом действии сравнительно невысоких концентраций загрязнителей проявляются хронические повреждения. Между прожилками листьев или на их краях постепенно возникают бледно-зеленые и желтые участки. У хвойных пород желтеют кончики игл.

При действии высоких, хотя, быть может, непродолжительных концентраций, у растений проявляются острые повреждения. На участках, подвергшихся наибольшему воздействию, образуются разрывы от соломенного до красно-коричневого цвета. При редком повторении пиковых концентраций на иглах хвойных пород можно заметить коричневатые полосы.

Молодые листья и иглы более чувствительны к загрязнителям, чем старые. Цветы менее чувствительны, чем листья. Однако это не относится к процессу опыления. Действие загрязнителей приводит к тому, что цветки опадают раньше, чем завязывается плод. Таким образом, действие загрязнителей приводит к снижению урожайности.

Оксиды азота редко приводят к прямому отрицательному воздействию (в обычно встречающихся концентрациях). Однако в сочетании с диоксидом серы наблюдается синергический эффект.

#### **1.2.5. Воздействие на экосистемы**

Выживаемость любой популяции зависит от ее генетического разнообразия. Различия в реакции на изменение внешних факторов между различными представителями одного и того же вида определяют селекционную способность данного вида. С течением времени наиболее хорошо приспособляющиеся экземпляры становятся доминирующими (доминантами) и образуют наиболее стабильную базу будущей экосистемы. Более того, именно наличие загрязнителей может служить фактором выживаемости некоторых видов в их конкурентной борьбе с другими видами. Например, вблизи одного из металлургических заводов практически вся растительность представлена двумя многолетними травами: оленьей травой и солянкой. Ни одна из этих трав практически не встречается в незагрязненных районах, так как там они не выдерживают конкуренции с другими видами.

И все же в целом действие загрязнителей приводит к исчезновению видов. Например, в провинции Онтарио (Канада) переработка руд привела к гибели сосны на расстоянии 50 км от промышленных предприятий, а лишайников – на гораздо большем расстоянии.

Главным индикатором действия загрязнителей на экосистемы в целом можно рассматривать динамику разнообразия видов в экосистеме. Чем больше активность загрязнителей, тем меньше становится разнообразие видов в данной местности.

В сельском хозяйстве главное действие атмосферных загрязнителей

проявляется в снижении урожайности, если поражается более 5% общей площади поверхности листьев. Общее снижение урожайности под действием промышленных загрязнителей, зарегистрированное в наблюдениях, составляет от 15 до 50%.

### **1.2.6. Кислотные дожди**

Осадки (дождь, снег) обычно имеют кислую реакцию с кислотностью  $pH = 5,5-5,7$ . Это связано с природным поступлением в атмосферу диоксида углерода и оксидов азота и серы. Однако из-за промышленных выбросов поступления этих веществ в атмосферу возрастают, и осадки могут приобрести большую кислотность. В таком случае говорят о кислотном дожде. Наблюдения зарегистрировали повышение кислотности осадков в ряде случаев до  $pH = 4,2$ , а при действии ураганов даже до  $pH = 3-4$ . Наименьшее значение  $pH = 2,7$  было зарегистрировано в дождевой воде в 1974 г. в Шотландии - почти как у столового уксуса.

Возможные отрицательные последствия кислотных дождей:

- падение урожайности сельскохозяйственных культур;
- снижение выхода деловой древесины;
- снижение продуктивности пресноводных водоемов;
- вынос питательных веществ из экосистем;
- подавление деятельности почвенных микроорганизмов;
- коррозия материалов промышленных конструкций.

Исследования показывают, что ранжирование растений по снижению степени чувствительности к повышению кислотности осадков следующая: травы, широколиственные растения, лиственные деревья, хвойные деревья. В частности, отмечена повышенная чувствительность бобов, подсолнечника, тополя.

Наибольшая кислотность наблюдается в начале выпадения осадков. При длительном дожде атмосфера самоочищается и кислотность осадков приближается к нормальному значению.

Таким образом, антропогенное нарушение естественного круговорота веществ в биосфере и антропогенные помехи в биогеоценозах являются главными причинами мирового экологического кризиса.

## **Глава 2. Экологические проблемы научно-технического прогресса**

### **2.1. Масштабы производственной деятельности человека**

Научно-технический прогресс создал большие возможности для повышения комфорта и качества жизни человека. Вместе с тем он создал опасность самому существованию человека и всего живого на Земле из-за нарушения естественного круговорота веществ в биосфере и сложившихся в ходе эволюции процессов обмена веществом, энергией, информацией в биогеоценозах.

Человек во все большем размере осваивает как возобновляемые, так и невозобновляемые энергетические и другие ресурсы, и значительная часть невозобновляемых ресурсов уже использована. Так, человечество уже извлекло из недр планеты около 24% угля из разведанных 730 млрд.т условного топлива (млрд. т у. т.), при ежегодном потреблении около 3 млрд. т у.т. , около 68% нефти из разведанных 200 млрд. т у.т. при ежегодном потреблении около 4,5 млрд. т. у.т., около 40% природного газа из разведанных 145 млрд. т. у.т. при ежегодном потреблении около 2,4 млрд. т. у.т.

В недрах Земли ежегодно добывается более 100 млрд.т. руды, что по извлекаемой массе эквивалентно почти одной десятой доле всех разведанных запасов угля и почти равно общим запасам разведанной нефти. Сжигается около 10 млрд. т. у.т. в год, выплавляется более 800 млн.т в год различных металлов, на полях рассеивается более 500 млн.т минеральных удобрений и более 14млн. т. ядохимикатов, из которых третья часть смывается в водоемы или задерживается в атмосфере.

По данным Всемирной организации здравоохранения в настоящее время используется более 500 тысяч различных химических соединений, из которых около 40 тысяч имеют вредные для человека свойства, а 12 тысяч токсичны.

Скорость сведения лесов сегодня достигла 18 млн.га/год, что составляет 0,6 – 0,7% в год. При такой скорости сведения лесов их через 150 лет вообще не останется на Земле. А в результате застройки, опустынивания, горных разработок и других антропогенных процессов из землепользования ежегодно изымается до 70 тысяч км<sup>2</sup> земель, что больше площади таких государств, как Литва или Латвия.

В биосферу Земли ежегодно поступает более 30 млрд. т промышленных и бытовых отходов. По различным оценкам готовая продукция

производство составляет только около 1 – 2% от используемого исходного сырья.

Особенно отрицательное воздействие на окружающую природную среду оказывают города. Одних только городов с населением более 1 млн. человек на планете Земля перевалило далеко за 300. Показательны огромное потребление ресурсов и выброс в биосферу огромной массы вредных веществ – отходов функционирования современного города с числом жителей 1 млн. человек. Такой город-монстр (с точки зрения негативного воздействия на окружающую природную среду) ежедневно потребляет 625 тысяч тонн воды, 2 тысячи тонн пищи, 4 тысячи тонн угля, 3,8 тысячи тонн нефтепродуктов, 2,7 тысяч м<sup>3</sup> природного газа и ежедневно выбрасывает в атмосферу непосредственно над городом 150 тонн пыли, 150 тонн диоксида серы SO<sub>2</sub>, 100 тонн окислов азота NO<sub>x</sub>, 450 тонн оксида углерода CO, сбрасывает в городские и пригородные водоемы 500 тысяч тонн сточных вод, размещает в пригородной зоне 4 тысячи тонн твердых отходов. И, таким образом, жители города оказываются заблокированными вредными веществами и со стороны атмосферы (над городом практически постоянно висит пылегазовый купол, поскольку большую часть суток он постоянно подпитывается пылегазовой эмиссией промышленных предприятий и автотранспортом), и со стороны водных объектов и пригородных земель, загрязненных, соответственно, стоками, и твердыми отходами свалок, полигонов, захоронений.

Постоянная интенсификация производственной деятельности человека приводит к изменению режима грунтовых и подземных вод, а также поверхностного водостока, структуры почв, усилению геохимических процессов, изменению всего ландшафта. Нерациональное природопользование приводит к загрязнению природной среды и изменению биосферы.

## **2.2. Этапы и формы изменения биосферы человеком**

Уже в начале 20-го века академик В.И. Вернадский отмечал, что производственная деятельность человека по своим масштабам становится сопоставимой с геологическими процессами. Однако до такого уровня она развивалась постепенно. Можно выделить несколько главных этапов изменения биосферы человеком, которые заканчивались экологическими кризисами и экологическими революциями:

- воздействие человека на биосферу как обычного биологического вида;
- интенсивная охота без изменения вида экосистем, в это время

полностью уничтожаются отдельные виды животных: бизон, саблезубый тигр и др.;

- выжигание трав и леса, приручение полезных животных;
- распашка земель и вырубка лесов в связи с расселением человека на расширяющихся территориях;
- глобальное изменение всех компонентов биосферы в связи с промышленной и научно-технической революциями.

Антропогенное воздействие на биосферу сводится к четырем главным формам:

- 1) изменение структуры земной поверхности (мелиорация, ирригация, изменение режима поверхностных вод, вырубка лесов, распашка степей, застройка населенных пунктов, строительство дорог и т.п.);
- 2) изменение состава биосферы, круговорота и баланса веществ в ней (добыча полезных ископаемых и создание отвалов, выбросы вредных веществ в атмосферу, водоемы и почву, изменение влажности и т.д.);
- 3) изменение теплового баланса планеты,
- 4) изменение баланса биоты (истребление части видов организмов, создание новых пород и сортов).

Размеры изменения биосферы от антропогенного воздействия представлены в табл. 2-1.

Таблица 2.1

*Изменение природы человеком*

Экологический компонент	Размер использования или загрязнение, млн.т./год, или указанные единицы измерения	Изменение в % от природного количества за период существования человечества	Примечание
<b>1. Атмосфера</b>			
1.1.Кислород	20000	От 12 до 23	Уменьшение
1.2.Углекислый газ	70000	25, в т.ч. в 19-20 вв. на 18	Увеличение
1.3.Диоксид серы	150	75	Вызывают кислотные дожди
1.4.Оксиды азота	65	8,1	
1.5.Угарный газ	300	100	
1.6.Озон		20	Уменьшение

Продолжение таблицы 2.1

<b>2. Гидросфера</b>			
2.1.Безвозвратное водопотребление	430 км <sup>3</sup> / год	9	Уменьшение
2.2.Загрязнение тяжелыми металлами		В 19-20 вв. в 10 – 15 раз	
2.3.Загрязнение нефтью	2135	В 3560 раз	Нефтяной пленкой покрыто 20 % поверхности океана
<b>3. Литосфера</b>			
3.1.Горные породы	100000		
3.2.Рост площади пустынь	От 3 до 12 тыс.км <sup>2</sup> / год	В 6,7 раза	
<b>4. Биота</b>			
4.1.Уничтожение лесов	180 тыс.км <sup>2</sup> / год	70	Лесистость суши снизилась с 75% до 27%
4.2.Исчезнувшие виды или под угрозой исчезновения	25 – 30 тыс.	10 – 15	
4.3.Добывается рыбы и морепродуктов		70 от прироста	
4.4.Генетическое разнообразие живого вещества	90		Уменьшение

## **2.3. Факторы антропогенного воздействия на биосферу**

### **2.3.1. Строеение и состав атмосферы, источники ее загрязнения, нормирование загрязнений**

#### **2.3.1.1. Строеение и состав газовой оболочки Земли**

Благодаря специфическому газовому составу, способности поглощать и отражать солнечную радиацию, озоновому слою, в котором за-

держивается основная часть коротковолнового излучения Солнца, благоприятному температурному режиму и присутствию водяного пара, атмосферу можно назвать одним из главных источников жизни на Земле.

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

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

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

Таблица 2.2

*Газовый состав атмосферы*

№	Компоненты	Содержание, % по объёму	№	Компоненты	Содержание, % по объёму
1.	Азот	78,090	9.	Оксид азота	$2,5 \cdot 10^{-4}$
2.	Кислород	20,940	10.	Водород	$5 \cdot 10^{-5}$
3.	Аргон	0,930	11.	Метан	$1,5 \cdot 10^{-4}$
4.	Диоксид углерода	0,033	12.	Диоксид азота	$1,5 \cdot 10^{-4}$
5.	Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$	13.	Озон	$2 \cdot 10^{-6}$
6.	Гелий	$5,2 \cdot 10^{-4}$	14.	Диоксид серы	$2 \cdot 10^{-8}$
7.	Криптон	$1 \cdot 10^{-4}$	15.	Оксид углерода	$1 \cdot 10^{-5}$
8.	Ксенон	$8 \cdot 10^{-6}$	16.	Аммиак	$1 \cdot 10^{-6}$

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

С высотой уменьшается атмосферное давление. Газовый состав атмосферы представлен в таблице 2-2.

Атмосфера состоит в основном из кислорода и азота. Кислородно-азотный состав сохраняется примерно до высоты 400...600 км. Выше 600 км в атмосфере до высоты 1600 км преобладает гелий. Далее преобладает водород.

### 2.3.1.2. Источники загрязнения атмосферы

Уже начиная с XIX столетия, по мере развития промышленности, а затем энергетики и транспорта газовое равновесие в атмосфере начинает нарушаться: в круговорот естественный начинает вмешиваться социальный обмен веществ, то есть антропогенная деятельность. Сегодня загрязнение атмосферы достигло колоссальных масштабов.

Главные источники загрязнения атмосферы: естественный и антропогенный:

#### I. Естественное загрязнение:

- внеземное (космическая пыль);
- земное:
  - а) морское;
  - б) континентальное:
    - дым;
    - неорганическое (выветривания, вулканизм);
    - органическое (растения, животные).

#### II. Антропогенное загрязнение:

- |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| 1). радиоактивное:         | 2). прочие:            |
| а) урановая руда:          | а) промышленность;     |
| - добыча;                  | б) транспорт;          |
| - транспортировка;         | в) жилища;             |
| - переработка;             | г) сельское хозяйство. |
| б) эксплуатация реакторов; |                        |
| в) атомные взрывы;         |                        |
| г) отходы ТЭЦ, ТЭС, АЭС.   |                        |

Космическая пыль образуется из остатков сгоревших метеоритов при их прохождении в атмосфере. Ежегодно её выпадает на Землю 2...5 млн.т.

Природная пыль является составной частью земной атмосферы. Она представляет собой мельчайшие твёрдые взвешенные в воздухе частицы и ядра конденсации. Частицы природной пыли имеют органическое и неорганическое происхождение и образуются в результате разрушения и выветривания горных пород и почвы, вулканических извержений, лесных, степных и торфяных пожаров, испарения с поверхности морей. Одним из источников пыли в нижних слоях атмосферы являются безводные пустыни и степи. Кроме того, пыль образуется аэропланктоном, спорами растений, плесневыми и другими грибами, продуктами гниения, брожения и разложения растений и животных.

Атмосферный воздух над океаном включает мельчайшие кристаллы солей магния, натрия, калия, кальция, которые образуются в резуль-

тате высыхания в воздухе брызг воды.

Как правило, естественное загрязнение не угрожает отрицательными последствиями для экосистем и обитающих в них живых организмов.

Источниками антропогенного загрязнения атмосферы являются транспорт, теплоэнергетика, предприятия ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), промышленные и сельскохозяйственные предприятия. Несмотря на многообразие веществ, выбрасываемых в атмосферу этими источниками, можно указать наиболее распространённые выбросы: зола, пыль, оксиды серы, азота, сероводород, углеводороды, аммиак, оксиды углерода и т.д. За год в атмосферу Земли выбрасывается 200 млн.т. оксида углерода, более 20 млрд.т. диоксида углерода, 150 млн.т. диоксида серы, 53 млн.т. оксидов азота, свыше 250 млн.т. пыли, 120 млн.т. золы, более 50 млн.т. углеводородов.

Последствия такого загрязнения, о которых говорится ниже, носят и глобальный, и локальный характер.

### **2.3.1.3. Нормирование атмосферных загрязнений**

Основной физической характеристикой примесей атмосферы является их концентрация ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия вещества на окружающую среду и является основным параметром при нормировании атмосферных загрязнений.

Нормативы содержания загрязняющих веществ в воздухе представляют собой предельно допустимые концентрации (ПДК).

ПДК – это концентрация вредного вещества в окружающей среде, которая при постоянном контакте или при воздействии в определённый промежуток времени практически не оказывает влияния на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

С позиций экологии ПДК вредных веществ имеют смысл верхнего предела устойчивости организма, при превышении которого то или иное вещество (т.е. фактор) становится лимитирующим.

Наиболее характерными воздействиями вредных веществ на организм являются токсические и рефлекторные воздействия. Это обстоятельство вызвало необходимость установления для загрязняющих веществ двух видов ПДК: максимальную разовую и среднесуточную.

Максимальная разовая величина ПДК не должна допускать рефлекторных реакций человека (насморк, ощущение запаха и т.п.).

Среднесуточная ПДК не должна допускать токсического, канцерогенного, мутагенного воздействия.

При проектировании предприятий в районах, где атмосферный воз-

дух уже загрязнён выбросами от других действующих предприятий, необходимо нормировать их выбросы с учётом уже присутствующих в воздухе примесей (фоновой концентрации).

Если имеется несколько источников выбросов, требование к качеству воздуха населённого пункта выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N C_i \leq ПДК - C_{\phi}$$

где  $C_i$  - наибольшая концентрация вредного вещества в воздухе населённого пункта от  $i$ -го источника;  $C_{\phi}$  - значение фоновой концентрации;  $N$  - число источников, через которые данное вещество поступает в воздух.

При наличии выбросов нескольких веществ, обладающих эффектом суммации, условия санитарных норм будут выполнены, если

$$\sum_{i=1}^K \left( \frac{C_i}{ПДК_i - C_{\phi_i}} \right) \leq 1.$$

Для регулирования выбросов вредных веществ в атмосферу используются индивидуальные для каждого вещества и предприятия нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ), которые учитывают количество источников, их высоту, распределение выбросов во времени и пространстве и другие факторы.

Предельно допустимые выбросы – предельное количество вредного вещества, разрешаемое к выбросу от данного источника, которое не создаёт приземную концентрацию, опасную для людей, животного и растительного мира. ПДВ – расчётная величина, определяемая по формулам и с помощью специальных программ на ЭВМ. Каждое предприятие должно иметь согласованный с местным органом охраны природы перечень (том) ПДВ.

### 2.3.2. Источники загрязнения гидросферы

Вода – самый распространённый минерал в биосфере, основа всех жизненных процессов, единственный источник кислорода в главном биосферном процессе – фотосинтезе.

Масштабы использования воды быстро увеличиваются - с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развития промышленности и орошаемого земледелия. Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 150 л на 1 человека, в городах – 150 л. Огромное количество воды используется в промышленности. Так, на выплавку 1 т стали необходимо 200 м<sup>3</sup>, на производство 1 т бумаги – 100 м<sup>3</sup>, 1 т синтетиче-

ского волокна – до 5000 м<sup>3</sup>. Промышленность поглощает до 85% всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15%.

Еще больше воды необходимо для орошения. Например, на уровне 2000 г

в сельском хозяйстве в мире использовано 63% всей потребленной воды, из которой 86% ушло на орошение.

При сохранении таких масштабов потребления воды, с учетом прироста населения и объемов производства к 2100 году человечество может исчерпать все запасы пресной воды.

Все более ощущаемый недостаток воды вызывается ее растущим загрязнением вследствие сброса в реки отходов промышленности, особенно химической и коммунальных сточных вод. Бактериальное загрязнение и ядовитые химические вещества, например фенол, приводят к омертвлению водоемов. Вредные вещества, поступающие в воды: нефть, нефтепродукты – в результате нефтедобычи, транспортировки, переработки, использования нефти в качестве топлива и промышленного сырья, токсичные синтетические вещества, применяющиеся в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве, металлы – ртуть, свинец, цинк, медь, олово, марганец и другие.

В реки и озера поступают минеральные удобрения, вымываемые из почвы дождями и при весеннем таянии снега – нитраты и фосфаты, которые в больших концентрациях способны резко изменить флору и фауну водоемов, а также различные ядохимикаты, используемые для борьбы с грызунами и другими вредителями сельского хозяйства.

Одним из видов загрязнения является тепловое загрязнение: электростанции, промышленные предприятия часто сбрасывают подогретую воду в водоем, что вызывает уменьшение кислорода в воде, увеличивает токсичность примесей, нарушает биологическое равновесие.

Значительному загрязнению подвергаются воды морей и океанов. С речным стоком, а также от морского транспорта в моря поступают безвредные отходы, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, ядовитые органические соединения, в том числе пестициды. ДДТ обнаружен даже в организме пингвинов, обитающих в Антарктиде. Загрязнение морей и океанов достигает таких масштабов, что в ряде случаев выловленные рыба и моллюски оказываются непригодными для употребления в пищу.

### **2.3.3. Источники загрязнения литосферы**

Всё то, что человек добывает, производит, выращивает, потребляет,

в конце концов, превращается в отходы. Часть из них удаляется вместе со сточными водами, другая часть в виде газов, паров и пыли попадает в атмосферу, но большая часть выбрасывается в виде твёрдых отходов. Каждый житель планеты «производит» ежедневно до 1,5 килограммов мусора.

Гора твёрдых бытовых отходов (ТБО) растёт с каждым днём – за год у нас в стране их собирается примерно 60 млн. тонн. Объём бытового мусора в США составляет 140 млн. т в год, для уборки мусора ежедневно требуется 63 тыс. мусоровозов. Объём бытовых отходов в год в расчёте на одного человека увеличивается примерно на 1...4 %, а на массе на 0,2...0,4 % в год. В состав ТБО (мусора) входят зола, шлак, бумага, пластмасса, пищевые отходы, металл, стекло и пр. Ещё более разнообразны составляющие промышленных отходов: древесина, бумага, текстиль, кожа, резина, гипс, соли, шлаки, зола, формовочная земля, металл, отходы животного происхождения, строительный мусор.

Как утверждают специалисты, с начала двадцатого века в России накопилось более 100 миллиардов тонн только твёрдых отходов и ежегодно к ним добавляется ещё по 7 миллиардов тонн.

Твёрдые отходы загрязняют все геосферы Земли. Например, отстойные, насыщенные разнообразными химическими соединениями воды золо-шлаковых отвалов при весеннем половодье или в результате сильных ливней могут быть сброшены в водоемы, а отвалы отходов обогащения урановых руд (хвостохранилища) являются источниками значимого радиоактивного фона на больших территориях. Но самый большой вклад твёрдые отходы вносят в загрязнение литосферы. Достаточно напомнить о том, что при размещении твёрдых отходов на постоянное или временное хранение отчуждаются значительные территории с достаточно развитой инфраструктурой, пригодной для развития производств или жилой зоны.

Источники загрязнения верхнего, почвенного слоя литосферы и литосферы, в целом, весьма разнообразны: сточные воды, особенно при их сбросе «на ландшафт», протечки нефти и нефтепродуктов, выбросы промышленных предприятий, содержащие вредные парогазовые примеси и аэрозоли и осаждающиеся на землю, применение пестицидов в сельском хозяйстве и многое другое. Но главный загрязнитель литосферы – бытовые и промышленные отходы. В результате литосфера загрязняется ртутью (с ядохимикатами и отходами промышленных предприятий), свинцом (при выплавке свинца и от автотранспорта), железом, медью, цинком, марганцем, никелем, алюминием и другими металлами (вблизи крупных центров черной и цветной металлургии), радиоактивными элементами (при удалении твёрдых отходов

предприятий атомной промышленности, атомных электростанций, учреждений, связанных с изучением и использованием атомной энергии), стойкими органическими соединениями, применяемыми в качестве ядохимикатов и другими загрязнителями.

#### **2.3.4. Источники энергетических загрязнений**

Наряду с химическими загрязнителями на окружающую среду и человека воздействуют физические поля. Как и химические загрязнители, физические поля подразделяются на естественные и антропогенные. Естественные физические поля так же, как и химические загрязнители – воздействия, в условиях которых протекала эволюция живого вещества: флоры, фауны, человека. Интенсивность этих полей изменялась вместе с изменением Вселенной, Солнечной системы, самой планеты Земля. Живое вещество на Земле, тем не менее, смогло адаптироваться к изменениям концентраций химических загрязнений и интенсивности физических полей и выжить.

Сегодня, в соответствии с современными естественнонаучными представлениями, природа и человек вступают в период новых испытаний: предстоит адаптироваться к химическим и полевым изменениям в биосфере Земли, вызванным деятельностью человека. Здесь главное опасение: очень высок темп этих изменений, и адаптационные механизмы природы и человека могут «не успеть» адаптироваться к антропогенному давлению на биосферу.

В настоящее время практически учитываемыми физическими полевыми воздействиями на окружающую среду и человека являются электромагнитные и вибро-акустические воздействия. В науке и практической деятельности по защите от них биосферы и человека они получили название энергетических загрязнений.

Спектр частот колебаний электромагнитных воздействий очень широк, и на разных участках спектра электромагнитные воздействия проявляются по-разному.

Электромагнитные поля (ЭМП) от самых низких частот до  $6 \cdot 10^{12}$  Гц называют радиочастотными. Воздействия таких полей чаще всего идентифицируют как собственно электромагнитные воздействия. Их источники – высоковольтные линии электропередачи и сети электроснабжения промышленной частоты (50 Гц), радиостанции, телецентры и телеретрансляторы, радиолокационные станции, установки токов высокой частоты, индукционной сушки, телеэкраны, дисплеи, антенны, магниты, радиотелефоны и многое другое. Интенсивности радиочастотных антропогенных ЭМП (напряженности электрического и магнитного полей, плотность потока энергии) на порядки величины превышают ес-

тественный фон – атмосферное электричество, радиоизлучения Солнца и галактик, квазистатические электрические и магнитные поля Земли.

Организм человека и других живых существ функционирует на основе действия очень слабых биоэлектрических токов и потенциалов (микроамперы, милливольты) и биомагнитных полей (нано- и пикотесла), и естественные ЭМП, таким образом, являются синхронизаторами биоритмов организма. Антропогенные ЭМП приводят к десинхронизации функциональных процессов в организме, что выражается в нарушении функционального состояния центральной нервной, сердечно-сосудистой и других систем человека.

Электромагнитные поля (излучения) с последующим интервалом частот – до  $3,9 \cdot 10^{14}$  Гц – относятся к инфракрасным ЭМП, или тепловым излучениям. Типичными источниками теплового излучения являются нагретые поверхности, расплавленные вещества, пламя. Антропогенные тепловые излучения являются тепловыми загрязнениями окружающей среды, прежде всего, водоемов. Источники теплового загрязнения, большей частью – тепловые и атомные электрические станции (ТЭС, АЭС), а также промышленные предприятия, на которых для охлаждения оборудования используются водяные системы охлаждения. Огромные массы подогретой воды с ТЭС, АЭС и предприятий сбрасываются в гидросферу, что приводит к угнетению, деградации, разрушению водных экосистем. Подобные тепловые загрязнители влияют не только на водную, но и на воздушную среду в районе расположения загрязнителей. Здесь из-за повышенной влажности и температуры фактически устанавливается весьма неблагоприятный локальный климат.

Значительное негативное воздействие тепловое излучение оказывает на условия труда в рабочей зоне предприятий с источниками интенсивного тепловыделения, например, на сталелитейных заводах, на предприятиях хлебопечения.

Интегральным источником теплового загрязнения является вся совокупность энергоустановок на Земле, а также собственно атмосферный воздух, нагревающийся вследствие рассматриваемого ниже парникового эффекта.

Наконец, ЭМП с еще более высокими частотами, более  $3 \cdot 10^{15}$  Гц, относятся к ионизирующим излучениям (ИИ) Источники ИИ – руды радиоактивных элементов (урана, тория), ядерное топливо, АЭС, особенно в случае работы в нештатных режимах, отходы АЭС, предприятий атомной промышленности, источники ионизирующего излучения, применяемые в процедурах медицинской диагностики и лечения, в дефектоскопии.

Если антропогенные радиочастотные ЭМП-излучения приводят к десинхронизации функциональных процессов в организме, вызывающей нарушение работы его различных систем, тепловое излучение сопровождается термическим эффектом с пороговым характером действия (тепловой удар), то ИИ ионизируют молекулы воды, содержащейся в организме, с последующим окислением молекул белка образовавшимися при этом радикалами  $H^*$  и  $OH^*$ , расщепляют непосредственно молекулы белка, что вызывает функциональные, биохимические изменения, которые могут привести к незлокачественному поражению кожи, острой лучевой болезни, онкологическому процессу, мутации генов. Типичное проявление мутации генов – врожденное уродство.

Изменение вибро-акустических параметров окружающей среды связано с возникновением либо малых механических колебаний (вибраций) в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, либо упругих колебаний (звуковых, или акустических полей) в твёрдой, жидкой или газообразной среде вследствие воздействия на среду какой-либо возмущающей силы. Так, крыльчатка вентилятора передаёт энергию молекулам воздуха, которые, в свою очередь, передают энергию соседним молекулам и т.д. – в воздушной среде возникают колебания: в каждой точке окружающего воздушного пространства на постоянное атмосферное давление накладывается периодическая (аперриодическая) составляющая давления, которую слуховой аппарат человека воспринимает как звук. Если последний нежелателен для человека, то это – шум.

Деятельность человека в биосфере сопряжена с невольным и всё возрастающим производством ненужных для людей, фауны, флоры звуков – шумов, а также вибраций.

Шум в окружающей среде – в жилых и общественных зданиях, на прилегающих к ним территориях, в городской среде в целом вызывается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания: средства транспорта, оборудование предприятий, вентиляторы, компрессорные установки, станции для испытания двигателей и генераторов, аэрогазодинамические установки, средства аудиотехники, санитарно-техническое оборудование жилых зданий, электрические трансформаторы. Нарастание шума происходит и вне городской среды: шум наземного, водного, воздушного транспорта, сельхозмашин, ЛЭП, ветровых электростанций, мобильных средств аудиотехники. Очевиден шумовой прессинг на всё живое: растительный и животный мир, на человека.

В городе интенсивность шума каждые 25...30 лет возрастает примерно в 10 раз, т.е. на 10 децибел (дБ). Человек реагирует на шум в за-

висимости от субъективных особенностей организма, привычного шумового фона. Раздражающее действие шума зависит от его уровня, спектральных и временных характеристик. Считается, что даже шумы с уровнем ниже 60 дБ вызывают нервное раздражение, и существует прямая связь между уровнем шума в городах и увеличением числа нервных заболеваний. Специфическим характером воздействия на организм человека отличаются инфразвуковые волны. Они могут иметь естественное (обдувание сильным ветром крупных неоднородностей ландшафта, строительных сооружений, водных поверхностей) или искусственное происхождение (механизмы с большой поверхностью с числом рабочих циклов не более 20 в секунду, реактивные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, турбины, вентиляторы, компрессоры и другие установки, создающие большие турбулентные массы потоков газов, транспорт).

Источники в и б р а ц и й : оборудование ударного действия (молоты, машины для забивания свай под фундаменты зданий), рельсовый транспорт, мощные энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), инженерное оборудование зданий (лифты, насосные установки), системы отопления, канализации. Вибрации, часто сопровождаемые звуковыми колебаниями, распространяются по грунту и достигают фундаментов жилых и общественных зданий, инженерных сооружений. Это может вызвать неравномерность осадки грунта и фундамента, особенно при высокой насыщенности грунта влагой, и разрушение размещённых на них зданий и сооружений.

Во всех случаях вибрации вызывают раздражающее действие и помехи для работы в производственных, общественных и жилых зданиях. Протяжённость зоны воздействия вибрации в окружающей среде определяется интенсивностью (амплитудой) вибрации источника (фундамента машины), а также величиной затухания вибрации в грунте и может достигать 150...200 м.

## **2.4. Антропогенные воздействия глобального характера**

### **2.4.1. Поступление в атмосферу антропогенной теплоты**

Производство человеком тепловой, электрической и других видов энергии (а она вся, в конечном счете, превращается в теплоту) приводит к большим поступлениям теплоты в окружающую среду. По оценкам, мощность потока теплового загрязнения окружающей среды от антропо-

погенных источников теплоты в районе 2010 г. приблизится к 50 млн. МВт.

Но антропогенная энергетика все же очень мала по сравнению с солнечной энергетикой, которая обеспечивает функционирование живого вещества в биосфере. Поступление энергии от Солнца составляет по разным оценкам  $52 \cdot 10^3$  млн. МВт, так что доля антропогенной энергетика в настоящее время составляет около 0,1% от солнечной. Значит, согласно существующему в экологии правилу (закону) одного процента, современная антропогенная энергетика не может вывести биосферу из состояния равновесия, то есть вызвать значительные изменения климата.

Правда, выдвигается и другой критерий нарушения равновесия биосферы из-за роста совокупной мощности всех энергоустановок в мире: достижение антропогенной энергетикой уровня энергетика биосферного фотосинтеза. Известно, что энергетика фотосинтеза биосферы составляет приблизительно 0,2% от солнечной энергетика. Это означает, что нарушение равновесия биосферы может наступить уже при удвоении мощности современной антропогенной энергетика, в то время как достижение критерия «одного процента» может наступить наступит при возрастании ее мощности с 50 млн. МВт до 500 млн. МВт.

Видимые признаки развивающегося глобального экологического кризиса и пугающие человеческое воображение энергетические критерии потери устойчивости биосферы заставляют искать пути ограничения роста антропогенной энергетика. Главное направление такого ограничения – осуществление политики энергосбережения за счет внедрения технологий производства товаров и услуг с меньшим энергопотреблением.

С другой стороны, достигнутый уровень развития антропогенной энергетика сопровождается выбросом в атмосферу огромной массы так называемых парниковых газов, прежде всего, углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Они вызывают парниковый эффект. Его сущность заключается в следующем.

Основная доля солнечной радиации передается к поверхности Земли в оптическом диапазоне излучений, а излучается с земной поверхности в инфракрасном. При «допромышленных» концентрациях парниковых газов, то есть в период времени до промышленной и научно-технической революций, уровень поглощения ИК-излучения парниковыми газами естественных концентраций был достаточно стабильным, и был стабильным «подогрев» атмосферы энергией ИК-излучения. В последующий период, вместе с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, усиливался и ее «подогрев». Так, с 1880 г. по 1940 г. сред-

няя температура возросла на  $0,4^{\circ}\text{C}$ , предполагается, что к 2030 г. она может подняться на  $1,5 - 4,5^{\circ}\text{C}$ . Это весьма опасно для островных стран и территорий, расположенных ниже уровня моря.

Антропогенные источники теплоты: тепловые электрические станции (ТЭС), транспорт, промышленность – сконцентрированы, в основном, в крупных городах, интенсивное поступление парниковых газов и пыли при достаточно устойчивом состоянии атмосферы создает около городов пространства радиусом до 50 км и более с повышенными на  $1 - 5^{\circ}\text{C}$  температурами и высокими концентрациями загрязнений. Эти зоны (купола) хорошо просматриваются из космоса или высоко летящего самолета. Они разрушаются лишь при интенсивных движениях больших масс атмосферного воздуха.

Таким образом, парниковый эффект представляет собой такую же серьезную опасность, как и простое выделение теплоты от антропогенных источников. Более того, «парниковая энергетика», то есть мощность «подогрева» атмосферы за счет поглощения ИК – излучения антропогенными парниковыми газами, складываясь с мощностью собственно антропогенных источников теплоты, приближает ситуацию к достижению критерия «энергетики биосферного фотосинтеза» или даже критерия «правила одного процента».

Специалистами оценены возможности компенсации поступления антропогенного углекислого газа в атмосферу за счет поглотителей  $\text{CO}_2$ , имеющих в биосфере. Прежде всего, это растения, поглощающие углекислый газ в процессе фотосинтеза. Однако уничтожение лесов и исчезновение растительных видов оставляет мало надежды на эффективность этого поглотителя.

Аккумулятором углекислого газа является также морская вода, связывающая его в виде карбонат-ионов  $\text{CO}_3^{-2}$  и бикарбонат-ионов  $\text{HCO}_3^{-2}$ . Однако эти соединения находятся лишь в тонком поверхностном слое толщиной не более 60 м. Количество углекислого газа, которое может быть поглощено водой, обратно пропорционально его температуре. Следовательно, парниковый эффект будет ухудшать аккумулирующие возможности океана.

#### **2.4.2. Соотношение уровней воздействия антропогенных и естественных выбросов на биосферу, явления смога и кислотных дождей**

Доля твердых частиц и вредных газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и др.), появившихся в атмосфере Земли в результате антропогенной деятельности, по данным на начало 1970-х годов, невелика по сравнению с долей твердых частиц и аналогичных газов природного происхождения –

лишь 16-17% общего поступления в атмосферу (табл.2-3). Однако за 40 прошедших лет объем промышленной деятельности в биосфере возрос приблизительно на порядок величины – если судить по росту мощности потока теплового загрязнения биосферы за этот же период времени: с 6 млн. МВт (1972 г.) до приблизительно 50 млн. МВт (2010 г.). В этом случае доля выбросов антропогенного происхождения может составить порядка 50 % общего поступления частиц и газов.

Таблица 2.3

*Ежегодное поступление частиц и газов в атмосферу Земли (данные 1968 г.)*

Вид поступлений в атмосферу	Размер поступления		
	млн. т	%	
<b>1. Природного происхождения</b>	2115	100	83,8
1.1. Морская соль	1000	47,3	
1.2. Пыль	500	23,6	
1.3. Дым	35	1,7	
1.4. Газы	более 800	более 27,4	
<b>2. Антропогенного происхождения</b>	410	100	16,2
2.1. Выбросы пыли •	135	32,9	
2.2. Газы	275	67,1	
<b>Всего</b>	более 2525		100

Таким образом, в настоящее время антропогенные источники поступления монооксида углерода, оксидов серы и азота вполне сопоставимы с естественными источниками и, в целом, оказывают глобальное влияние на баланс атмосферы Земли: данные выбросы, постепенно распространяясь в мировом воздушном океане, вносят свой вклад в возрастание фоновых концентраций указанных вредных веществ. Вместе с тем, среднемировые фоновые концентрации этих веществ достаточно низки и не опасны.

Проблема антропогенных выбросов заключается, прежде всего, в формировании на их основе полей высоких концентраций твердых частиц и газов в пространстве над крупными городами - в виде упомянутых выше пылегазовых куполов. Последние представляют собой устойчивые образования, поскольку постоянно подпитываются выбросами автотранспорта, ТЭС и других энергоустановок, промышленных предприятий. Жители крупных городов практически постоянно находятся под воздействием таких вредных веществ. А поскольку в крупных городах, городских и промышленных агломерациях проживает значительная

часть населения (например, в Российской Федерации в 2009 г. – около 35%), антропогенные выбросы следует отнести к воздействиям вполне глобального характера.

Названные источники антропогенных выбросов являются причиной смога – колоссального загрязнения воздушной среды над городами.

При обычных условиях температура воздуха над воздушным бассейном населённого пункта значительно ниже той температуры, которую имеет приземный воздух. Поэтому даже при отсутствии ветра происходит вентилирование воздушного бассейна: имеющий меньшую плотность тёплый загрязнённый воздух поднимается вверх, а чистый воздух, большей плотности, поступает вниз. В некоторых местах Земли города (Лондон, Лос-Анджелес, Кемерово, Нижний Тагил и т.д.) часто возникает температурная инверсия, когда воздух над воздушным бассейном имеет более высокую температуру, чем в приземном слое, и, следовательно, меньшую плотность. Поэтому чистый воздух не может опуститься вниз и вентилировать воздушный бассейн. Ситуация ещё более усугубляется отсутствием ветра – все вредные вещества, поступающие в воздушный бассейн, остаются над городом.

В 1952 году смог в Лондоне за 5 дней погубил 5000 человек, а 10000 получили тяжёлые заболевания.

Различают следующие типы смогов:

1) ледяной (аляскинского типа) – сочетание газообразных загрязнителей, пылевых частиц и кристаллов льда, возникающих при замерзании капель тумана;

2) влажный (лондонского типа) - сочетание газообразных загрязнителей (в основном сернистого ангидрида), пылевых частиц и капель тумана;

3) сухой, фотохимический (лос-анджелесского типа) – вторичное (кумулятивное) загрязнение воздуха, возникающее при разложении загрязняющих веществ солнечными лучами, особенно ультрафиолетовыми.

Главным ядовитым компонентом фотохимического смога является озон ( $O_3$ ), кроме того, в его состав входят угарный газ ( $CO$ ), соединения азота ( $NO_x$ ), перекись ацетилнитрата, азотная кислота ( $HNO_3$ ) и др. На образование и устойчивость этого типа смога влияют температурная инверсия, солнечное излучение и степень загрязнения воздуха транспортными и промышленными газами.

Если вдуматься в сложившуюся ситуацию, то можно прийти к выводу о том, что наблюдается процесс медленного самоубийства человечества. По сравнению с 1900 годом в мире в несколько раз увеличилась заболеваемость, связанная со злокачественными новообразованиями.

Медики и экологи считают, что практически 40 % заболеваний (онкология, инфекционные заболевания, сахарный диабет, бронхиальная астма и т.п.) вызваны экологическими причинами.

Иногда именно загрязнение воздуха приводит к смертельным исходам. Чаще умирают люди, уже страдавшие тяжёлыми заболеваниями органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Однако есть фактор, бесспорно коррелирующий с числом серьёзных лёгочных и сердечно-сосудистых заболеваний – это курение. Курильщики в загрязнённом воздухе больше подвержены заболеваниям лёгких, чем в отсутствии загрязнения. Курение и загрязнение воздуха обладают эффектом синергизма.

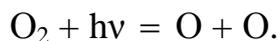
К глобальным атмосферным воздействиям антропогенные выбросы следует также отнести в связи с их определяющей ролью в формировании «кислотных дождей». Диоксиды серы и азота, главным источником которых являются мощные теплоэлектростанции, путешествуя на высоте нескольких сотен метров, за счёт соединения с атмосферной влагой образуют серную и азотную кислоты, выпадающие с осадками, часто в десятках и сотнях километров от источника выделения. Так, Норвегия, выбрасывая в атмосферу двуокиси серы меньше других стран, более других страдает от кислотных осадков. В Швеции и Норвегии рыба погибла в нескольких тысячах озёр и 7 реках. Ущерб не ограничивается гибелью водных обитателей. По пищевой цепи гибнут птицы и животные. Выбросы попадают в Швецию и Норвегию, которые вытянуты вдоль направления миграции загрязнений атмосферы. Эффективной мерой борьбы с этими загрязнителями могло бы быть уменьшение местных концентраций путем рассеивания этих веществ по большим пространствам. Но если вредные выбросы ТЭС, энергоустановок, промышленных предприятий можно рассеять посредством высоких, хотя и дорогих, труб, то для уменьшения выбросов автотранспорта требуется, как минимум, переход на более чистое (экологически) топливо, например, на природный газ, или переход на электрический автотранспорт.

#### **2.4.3. Антропогенное воздействие на стратосферный озон**

Известно, что исключительно важное значение для сохранения жизни на Земле имеет озоновый слой, находящийся в стратосфере. Десять процентов озона содержится в тропосфере – между поверхностью Земли и высотой от 10 до 16 км, девяносто процентов его находится в стратосфере, начиная с верхних слоев тропосферы до высоты 50 км.

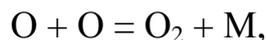
Озон ( $O_3$ ) образуется в стратосфере при взаимодействии молекулярного кислорода ( $O_2$ ) и атомарного кислорода ( $O$ ). Атомы кислорода

образуются при диссоциации молекулы  $O_2$  под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца



В приземном слое воздуха важная роль в процессах образования атомарного кислорода и озона принадлежит загрязнителю – диоксиду азота  $NO_2$ , как отмечено выше, в разделе 1.2.3.

Образовавшиеся атомы  $O$  либо соединяются вновь в присутствии третьего тела,



либо взаимодействуют с молекулами  $O_2$



здесь  $M$  – любая частица (например, аэрозольная частица), необходимая для отвода энергии от образующейся молекулы озона или кислорода.

Если кислород поглощает излучение Солнца в видимой и ультрафиолетовой частях спектра, то озон – только в ультрафиолетовой, в диапазоне длин волн 200 – 300 нм, наиболее биологически опасном участке всего спектра (400 – 20 нм) ультрафиолетового излучения (УФИ).

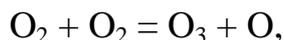
В ходе длительного формирования атмосферы Земли и ее стратосферы постепенно изменялся (уменьшался) уровень приземного УФИ, к которому адаптировались растительные и животные виды биосферы. Быстрое (внезапное) значимое возрастание уровня приземного УФИ из-за каких-либо неадекватных (непродуманных) технологических действий человека приведет, как показывают результаты наблюдений и исследований, к губительным последствиям для человека и всей биосферы.

Действительно, даже незначительное возрастание интенсивности УФИ приводит к опасности поражения кожи (рак кожи). Так, наблюдения показали, что уменьшение содержания озона в атмосфере на 5% приводит к увеличению интенсивности потока УФИ на 10%, при этом число заболевших раком кожи возрастает на 20-60 тыс.чел/год.

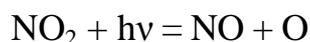
Установлено также отрицательное воздействие возрастания УФИ на фитопланктон – один из главных поставщиков кислорода в атмосферу и первичное звено многих трофических цепей. Замечено замедление роста многих овощных культур. Поскольку насекомые видят ультрафиолетовый свет, увеличение его интенсивности меняет для них цвета предметов и мешает ориентировке. Наконец, увеличение интенсивности УФИ приводит к возрастанию количества мутантов. Вообще роль озона настолько велика, что жизнь на Земле, как полагают, появилась лишь тогда, когда образовался озоновый слой в атмосфере.

В то же время необходимо отметить, что слишком высокие концентрации озона вблизи поверхности Земли имеют отрицательное действие для растительных организмов и человека. Это происходит в результате

чрезвычайно высокой химической активности озона. Особенно эти концентрации возрастают (в 2-3 раза) в условиях образования фотохимического смога. Эти условия предполагают интенсивное солнечное освещение, активное движение автотранспорта, наличие застойных зон. Движение автотранспорта дает оксиды азота NO, NO<sub>2</sub>, которые в условиях интенсивного солнечного освещения являются эффективными сенсибилизаторами кислорода. При передаче молекулам кислорода квантов энергии от NO, NO<sub>2</sub> образуется синглетная форма кислорода, дающая реакцию

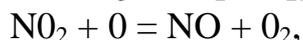
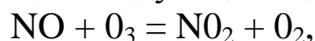


атомарный кислород (и озон), с другой стороны, образуются благодаря действию УФ-И на NO<sub>2</sub>:



Средние объемные концентрации озона у поверхности Земли составляют 1 млн<sup>-1</sup>.

Однако, вернемся к стратосферному озону. Благодаря своей высокой химической активности озон участвует в большом числе реакций. Наиболее интенсивны реакции следующего цикла:



откуда следует, что расхода NO и NO<sub>2</sub> в этих реакциях не происходит, но исчезают O<sub>3</sub> и O и образуются две молекулы O<sub>2</sub>. Следовательно, NO и NO<sub>2</sub> являются катализаторами разрушения O<sub>3</sub>, и если количество окислов NO<sub>x</sub> в атмосфере (стратосфере) возрастет выше определенного уровня, то равновесная концентрация O<sub>3</sub> начнет падать. Расчеты показывают: если концентрация NO в стратосфере возрастет на 50%, то концентрация O<sub>3</sub> может уменьшиться на 7 – 12 %.

Источником поступления оксидов азота в атмосферу и стратосферу являются, прежде всего, промышленные выбросы NO<sub>x</sub>, выхлопные газы стратосферной авиации (концентрация NO в них достигает 350 млн<sup>-1</sup>), азотные удобрения. Попадая в почву, последние распыляются, при этом некоторое количество молекул попадает в приземный воздух и через целую цепочку процессов – турбулентность приземного воздуха, восходящие движения в тропосфере, перенос в низкие широты, восходящие потоки из тропосферы в стратосферу – достигает, уже в виде NO<sub>x</sub>, озонового слоя.

Справедливости ради надо сказать, что кроме оксидов азота разрушению озона в стратосфере способствуют следующие антропогенные источники: промышленные выбросы соединений серы (SO<sub>2</sub>), углерода (CO, CO<sub>2</sub>), летучие органические соединения (алканы, олефины, ароматические углеводороды, альдегиды и кетоны, органические кислоты).

Одним из факторов, способствующих разрушению озонового слоя, были термоядерные взрывы в атмосфере, при которых под действием сверхвысоких температур разрушаются молекулы озона. Например, установлено, что послевоенные испытания ядерного оружия, проведенные до их прекращения в связи с подписанием Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере (1963 г.), привели к сокращению количества озона на 3-6%.

Другой источник опасности для стратосферного озона, что было установлено сравнительно недавно, фторированные углеводороды (хлорфторуглероды), особенно фреон-11 ( $\text{CFCl}_3$ ) и фреон 12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ). Они используются для заполнения аэрозольных баллончиков и в холодильной технике. Применение Ф-11 и Ф-12 сильно расширилось, (рис.2-1), так как фреоны считались безобидными соединениями. Однако обнаружилось, что под действием излучения Солнца фреоны разрушаются с образованием свободных атомов хлора Cl и молекул ClO, которые действуют подобно монооксиду азота и диоксиду азота в рассмотренном выше азотном цикле разрушения озона:

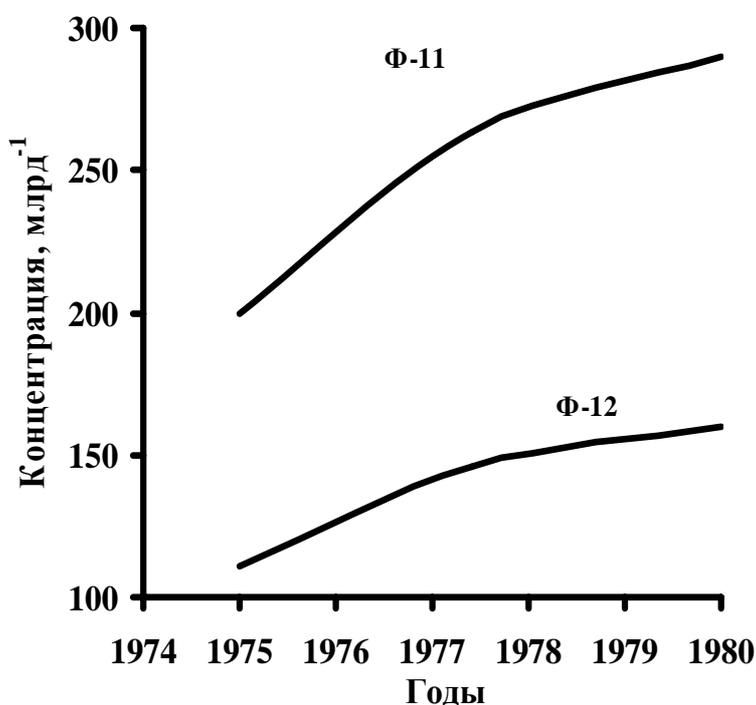
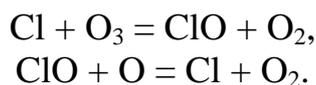


Рис. 2-1. Изменение концентрации фреонов в Северном полушарии:  
Ф-11 - фреон-11; Ф-12 - фреон-12

Здесь, как и в азотном цикле, Cl и ClO являются катализаторами разрушения озона. Главное - этот процесс может циклически повторяться сотни раз, при этом скорость распада озона на одну молекулу ClO или атом Cl в шесть раз выше, чем на одну молекулу NO или NO<sub>2</sub>. Хлористый цикл представляет собой наибольшую опасность для жизни озонового слоя. Развитие цивилизации приводит к все более убыстряющемуся выбросу хлористых соединений в атмосферу, поэтому заключены международные соглашения (Венская конвенция по охране озонового слоя, 1985г., Монреальский протокол к конвенции по веществам, разрушающим озоновый слой, 1987г.), по которым применение фреонов запрещено. Пока оно безусловно соблюдается лишь в промышленно развитых странах.

В последнее время появилась еще одна опасность – метилхлороформ (CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>). Его концентрация в атмосфере увеличивалась в последние года на 20-30% в год. Это объясняется тем, что он имеет слабую фотохимическую активность, даже в условиях смога. Им стали заменять другие реакционно-способные растворители. Однако обнаружилось его свойства, подобные описанным выше для фреонов.

Все это говорит о том, насколько надо внимательно относиться ко всем новым веществам, методам их использования, возможным побочным эффектам. Например, сейчас возникли опасения, что широкое применение азотных удобрений может привести к увеличению концентрации закиси азота (N<sub>2</sub>O) в атмосфере, что также повлияет отрицательно на содержание озона в стратосфере.

В 1985 г. была принята Венская конвенция по охране озонового слоя, в 1987 г. – Монреальский протокол к конвенции по веществам, разрушающим озоновый слой. Предусмотрено поэтапное сокращение производства и потребления хлорфторуглеродов.

## **2.5. Антропогенные воздействия на окружающую среду локального характера**

### **2.5.1. Действие атмосферных загрязнителей в городах**

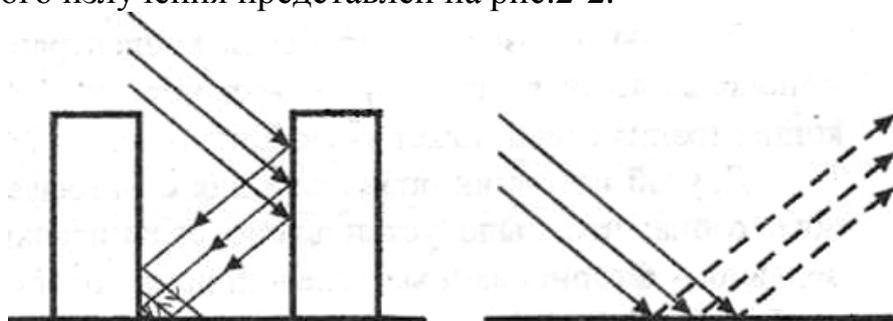
Локальные воздействия атмосферных антропогенных загрязнителей, действующих на ограниченной территории, более всего проявляют себя в городах и промышленных конгломерациях. В результате на ограниченной территории в несколько десятков или сотен квадратных километров образуется свой особый микроклимат.

В городе с его высокой плотностью населения, промышленными источниками загрязнения, особенностями рельефа (высокие дома), наличием крупных аккумуляторов энергии (здания) температура воздуха в

среднем выше, чем в сельской местности летом на  $0,5-0,8^{\circ}\text{C}$ , зимой – на  $1,5-2^{\circ}\text{C}$ ; облачность на 5-10% больше; плотность тумана на 30% летом и в два раза зимой выше, а запыленность в 10 раз больше. Общее количество осадков на 5-10% больше; скорость ветра меньше: среднегодовая на 20–30%, а максимальная - на 10-20%, при этом безветренных дней на 5-20% больше.

Объемы теплоты, производимой человеком, незначительны по сравнению с поступающим солнечным излучением в глобальном масштабе, но весьма существенны в локальном. Если в среднем для Земли они в 2010 г. составляют 0,1%, то, например, в районе Лос-Анжелеса – 5%.

Кроме того, городские здания, точнее - «коридоры» между ними, являются «ловушками» для солнечного излучения. Эффект «ловушки» солнечного излучения представлен на рис.2-2.



*Рис.2-2. Эффект «ловушки» солнечного излучения в городах*

Здания обладают свойствами горной породы - они поглощают теплоту в три раза медленнее, чем почва, но их теплопроводность втрое выше. При одинаковых объемах и времени пребывания на солнце камень по сравнению с другими предметами аккумулирует больше теплоты при более низкой собственной температуре. Поэтому ночью здания отдают тепло в воздух медленнее, чем почва в сельской местности, и ночью в городе заметно теплее. Город при определенных условиях (это рассмотрено выше) становится также «ловушкой» для выбросов вредных газов и аэрозолей (пыли и дыма, тумана). Над городом образуется (особенно в рабочие безветренные дни) «газо-пылевой купол» - см. рис. 2-3. С наступлением вечера частицы пыли охлаждаются быстрее, чем окружающий воздух. Они служат ядрами для конденсации тумана, который препятствует выхолаживанию купола. Отсутствие ветра не дает частицам выйти за «купол», и они остаются в «ловушке» до утра, когда следующий рабочий день добавит к ним новую порцию.



Рис.2-3. Образование «газо-пылевого купола» над городом

### 2.5.2. Температурная стратификация атмосферы и инверсии температуры

Замечено, что атмосфера в данной местности может находиться в различном состоянии, что предопределяет различие условий рассеяния вредных выбросов (атмосферных загрязнителей). Можно показать, что если малый элемент воздушного столба под влиянием внешних причин (порыв или дуновение ветра) переместится на другую высоту и этот процесс произойдет адиабатически (без изменения обмена теплотой с внешней средой), то температура элемента изменится на величину  $T = -9,9 \cdot 10^{-3} \cdot z$ , где  $z$ (м) - величина перемещения.

Величина  $\text{grad } T = T / z = -9,9 \cdot 10^{-3} \approx 10^{-2}$  град/м называется адиабатическим градиентом температуры, и температурная стратификация атмосферы, то есть распределение температуры  $T$  по высоте  $z$ ,

$$T(z) = T_0 - 10^{-2} \cdot z,$$

также называется адиабатической.

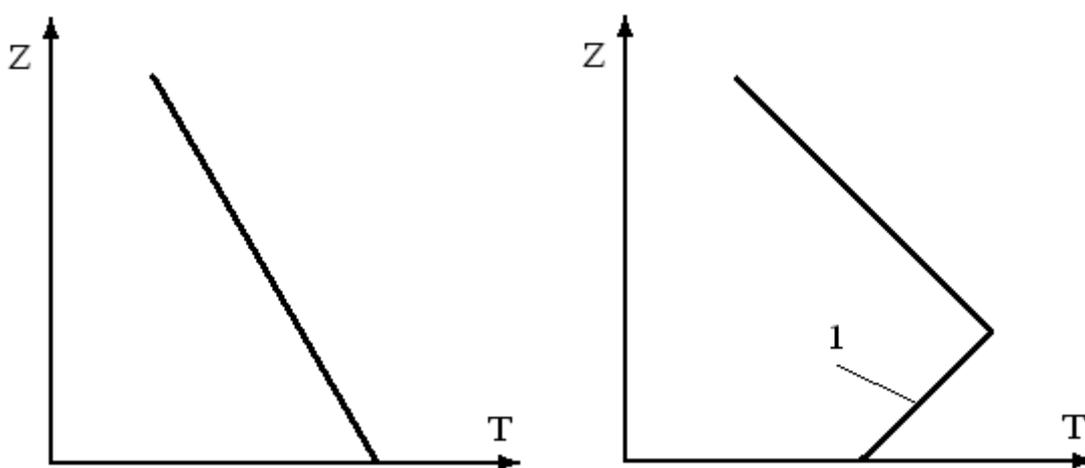
Известно, что фактическая скорость падения температуры в тропосфере в зависимости от условий может быть как больше, так и меньше этой величины.

В первом случае температурная стратификация называется сверх-адиабатической. При этом выброс загрязняющих веществ, например, в виде дымового факела, имеющего относительно более высокую температуру и меньшую плотность, чем окружающий воздух, поднимается вверх во все более холодном воздухе и эффективно рассеивается на большой высоте.

Во втором случае стратификация называется наадиабатической. Предположим, что температура воздуха имеет скорость изменения  $\text{grad } T < 10^{-2}$  град/м. Тогда малый элемент воздушного столба при случайном перемещении вверх на  $z$  в адиабатических условиях понизил бы свою температуру в соответствии с адиабатическим градиентом  $10^{-2}$  град/м, тогда как окружающий его воздух оказался бы более теплым В этих ус-

ловиях факел имеет меньшую подъемную силу и рассеивается на меньшей высоте, создавая более высокие концентрации вредных веществ в жизненно важном приземном слое воздуха. Меньшая скорость падения температуры имеет место, например, во время антициклона. Это наблюдается также ночью, при ясном небе, когда воздух приземного слоя охлаждается от поверхности земли. Состояние атмосферы с надиабатической температурной стратификацией определяется как устойчивое. Оно вызвано отклонением от обычного характера температурной стратификации (обычны адиабатическая или сверхадиабатическая стратификации, характеризующие состояние атмосферы как неустойчивое), называемым инверсией температуры. Это неблагоприятное состояние, так как оно препятствует перемешиванию слоев воздуха, подъему загрязненных нижних участков атмосферы вверх и их рассеиванию.

Состояния устойчивости или неустойчивости атмосферы, предопределяющие либо явление инверсии с малым эффектом рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере, либо адиабатическую и надиабатическую стратификации с высоким эффектом рассеивания ЗВ, во многом обусловлены атмосферной конвекцией, связанной с прогревом воздушных масс и поверхности земли в дневное время и охлаждением их в ночное время.



*Рис. 2-4. Иллюстрация к явлению инверсии температуры:  
слева - обычные условия; справа - условия инверсии; 1 - зона инверсии*

Так, приток тепла от Солнца может привести к повышению температуры приповерхностного слоя атмосферы при относительно низких температурах верхних слоев. На правой части рис.2-4 представлена подобная температурная стратификация атмосферы. В этом случае, при

наличии приземной инверсии, автомобильные выхлопы имеют относительно малую подъемную силу и распространяются непосредственно в приземном воздухе, создавая здесь опасные концентрации  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , твердых частиц и других ЗВ. Наоборот, выбросы источников с высокими трубами, превышающими высоту зоны инверсии, рассеиваются с высокой эффективностью. При сочетании определенных условий может сформироваться «приподнятая» инверсия, когда зона инверсии располагается на высоте, большей высоты трубы, и выбросы ЗВ не могут «пробить» инверсионную тепловую «подушку». При этом приземные концентрации ЗВ достигают, как правило, опасных величин.

Можно показать, что если  $\text{grad } T > 10^{-2}$  град/м, то состояние атмосферы будет неустойчивым. При случайном перемещении малого элемента воздуха вверх окружающий его воздух будет более холодным, и этот элемент продолжит свое движение вверх.

### 2.5.3. Воздействие на водную среду тепловых загрязнений

Многие промышленные производства используют большие количества воды, выбрасывая отработанную воду в естественные водоемы. Особенно этим отличается энергетика (табл.2-4).

Со строительством атомных электростанций (АЭС) объемы воды, потребляемой электростанциями, значительно возросли. АЭС на единицу выработанной энергии потребляет на 65-75% больше воды, чем тепловая электростанция (ТЭС) на органическом топливе. Увеличение коэффициента полезного действия (КПД) электростанций позволяет несколько сократить потребление воды. Но увеличение КПД, как правило, сопровождается увеличением единичной мощности электростанции, что приводит к увеличению концентрации экологического воздействия на ограниченной территории.

Таблица 2.4

*Структура отраслей в общем потреблении воды (данные США)*

Отрасль	Доля потребления, %
Электроэнергетика	81,3
Металлургия	6,8
Химия и нефтехимия	8,6
Прочие отрасли	3,3
Всего:	100

Главное отрицательное действие сброса отработанной воды электростанциями заключается в отводе теплоты в водные объекты, что нарушает природное равновесие в водных экосистемах. По разным оцен-

кам в 2000 году в США в антропогенной деятельности использовано около двух третей всего стока пресной воды страны.

Температура воды, сбрасываемой электростанцией, может достигать летом 30°C, зимой она на 10 – 20 градусов выше естественной.

Значимая опасность повышения температуры воды – значительное уменьшение растворимости кислорода, необходимого для жизнедеятельности организмов. При повышении температуры воды с 0°C до 30°C растворимость кислорода уменьшается с 14,6 до 7,6 мг/л. Вязкость воды уменьшается более чем в 2 раза, упругость водяного пара увеличивается в 7 раз, что увеличивает испарение воды с поверхности водоемов. Кроме уменьшения количества воды это приводит к изменению микроклимата наземной среды.

В химическом отношении повышение температуры воды на 10°C приводит к повышению средней скорости химических реакций примерно вдвое, воздействует на растворимость химических веществ в воде.

Резко возрастает активность сине-зеленых водорослей в ущерб диатомовым – пище рыб.

Основные негативные последствия теплового воздействия на водную среду заключаются в следующем.

1. Изменение температуры и количества сбросной воды в течение коротких интервалов времени приводит к тому, что могут быть превышены пессимумы для тех или иных организмов. Например, при повышении температуры воды свыше 24°C горбуша погибает. Некоторые виды рыб способны к акклиматизации лишь при условии медленного уменьшения температуры. Рыба, приспособившаяся к теплой воде, при помещении в холодную погибает.

2. При повышении температуры воды рыбы теряют способность к поиску пищи и ориентированию (могут заплывать в зону с летальной для них температурой), рост температуры благоприятствует развитию паразитов и микроорганизмов, вызывающих болезни рыб.

Этот список можно продолжить. Отметим, в целом, принципиальную важность сохранения естественного природного хода изменения температуры воды в природных водоемах по сезонам, времени суток и т.д.

#### **2.5.4. Воздействие атмосферных загрязнителей на организм человека**

Электростанции, котельные, промышленное производство, транспорт, пожары, другие источники загрязняют атмосферу, в основном, оксидами серы, азота, угарным газом (СО), твердыми частицами, углеводородами, пылью, дымом.

Рассмотрим действие основных атмосферных загрязнителей, в первую очередь, на организм человека. Именно это действие, в отличие от водных загрязнителей, где определяющим является воздействие на обитателей водной среды, становится расчетным для установления нормативов допустимого загрязнения/

Оксиды серы  $SO_2$  и  $SO_3$  опасны синергетическим действием совместно с аэрозолями. Уже при концентрациях  $0,08...0,36 \text{ мг/м}^3$  усиливаются респираторные заболевания у детей и престарелых, при концентрациях выше  $0,8 \text{ мг/м}^3$  наблюдается значительный прирост смертности. Постоянное воздействие оксидов серы приводит к повышению заболеваемости раком легких.

Оксиды азота замедляют рост растений, снижают урожайность, при концентрациях  $0,15 \text{ мг/м}^3$  повышается частота респираторных заболеваний, стесняется дыхание.

Моноксид углерода не вреден для растений, но очень вреден для организмов, дышащих легкими. Он в 200 раз активнее поглощается гемоглобином крови, чем кислород. При этом образуется карбоксигемоглобин (СОНЬ), препятствующий переносу кислорода от легких к тканям. В таблице 2–5 показаны симптомы отравления угарным газом в зависимости от содержания карбоксигемоглобина в крови человека.

Таблица 2.5

*Симптомы отравления монооксидом углерода*

С и м п т о м ы	Содержание СОНЬ в крови, %
Некурящие хуже различают длительность интервалов времени	2,5
Снижение остроты зрения у некурящих	3,0
Устойчивое снижение способности к восприятию	5,0
Головные боли, головокружение, утомляемость	15,0
Тошнота, рвота, звон в ушах, мелькание в глазах, апатия	35,0
Коматозное состояние	40,0

Если концентрация монооксида углерода во вдыхаемом воздухе равна  $C_0$ , то количество воспринятого человеком монооксида углерода при дыхании (в единицах концентрации  $\text{млн}^{-1}$ ) за время  $t$  определяется уравнением

$$C = C_0(1 - e^{-mt}),$$

где  $m$  – константа, зависящая от концентрации  $C_0$ ,  $m = f(C_0)$ ,  $1 \text{ млн}^{-1} = 1,15 \text{ мг/м}^3$ .

Так, при  $C_0 = 77 \text{ млн}^{-1}$  ( $m = 3$ ) через время  $t = 8 \text{ ч}$  будет воспринято 90% концентрации ( $0,9 C_0$ ), и величина насыщения крови СОНб достигнет 11,2%.

Известно, что у курящих постоянное содержание СОНб составляет 5% по сравнению с 0,5% для некурящих. Во время курения оно может возрасти до 15%.

В помещениях, где курят, создается постоянный уровень загрязнения монооксидом углерода, примерно  $30 \text{ млн}^{-1}$ . Фоновая концентрация СО в чистой атмосфере равна примерно  $0,15 \text{ млн}^{-1}$ . Если на урбанизированных территориях не осуществляются системные мероприятия по уменьшению автомобильных выбросов СО, то в час пик на городских улицах его концентрация может достигать  $60 \dots 300 \text{ млн}^{-1}$ .

Углеводороды сравнительно неопасны для членов ряда метана, но очень опасны для альдегидов, бензола, этилена. Концентрация бензола в атмосфере даже около  $25 \text{ млн}^{-1}$  может вызвать онкологические заболевания. В целом, для углеводородов уже концентрации  $0,2 \text{ млн}^{-1}$  (около  $130 \text{ мкг/м}^3$ ) проявляют отрицательное действие на организм человека.

Повышенные концентрации взвешенных твердых частиц также опасны для здоровья. При их среднегодовой концентрации свыше  $100 \text{ мкг/м}^3$  возрастает смертность среди престарелых, у детей и пожилых людей учащаются заболевания дыхательных органов. При этой концентрации частиц интенсивность солнечного излучения в приземном воздухе ослабевает на 5%, каждое удвоение концентрации снижает прозрачность воздуха на следующие 5%.

В каждой стране установлены предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнителей, имеющих значимое распространение в воздухе рабочей зоны, т.е. на рабочих местах, и в приземном воздухе окружающей среды. Чтобы такие концентрации не превышались, администрация и контролирующие службы предприятий, муниципалитетов, регионов и государства, в целом, осуществляют целую систему организационных и технических мероприятий, о которых речь пойдет ниже.

В частности, в США по каждому из основных загрязнителей установлены упомянутый предельный уровень (предельно допустимая концентрация) загрязнения и четыре дополнительных. Каждый уровень характеризуется концентрацией загрязнителя и единицами стандартного индекса загрязнения (СИЗ). Так, по диоксиду серы  $\text{SO}_2$  первый уровень составляет  $80 \text{ мкг/м}^3$ , а по единицам СИЗ - 50 единиц. Степень воздействия на здоровье этого уровня признана несущественной. Вторым уровнем загрязнения по  $\text{SO}_2$  составляет  $365 \text{ мкг/м}^3$  (он определен как предельно допустимый по национальному стандарту) и 100 единиц СИЗ. По воздействию на здоровье этот уровень загрязнения признан вред-

ным. Три последующих уровня составляют 800, 1600, 2100 мг/м<sup>3</sup> и 200, 300, 400 единиц СИЗ. Они определены как сигнальный, предостерегающий и чрезвычайный, а по влиянию на здоровье, соответственно, как очень вредный, опасный, очень опасный. Такой подход позволяет вполне предметно характеризовать текущее состояние загрязненности приземного воздуха без обращения к конкретным загрязнителям и их концентрациям. Это облегчает информирование населения и организацию мероприятий по его защите.

### **2.5.5. Загрязнение воздуха в помещениях**

Закрытые помещения (квартиры, офисы и т.п.) характеризуются специфическими условиями в экологическом отношении.

Движение за энергосбережение привело к стремлению герметизировать помещения, чтобы сократить расходы на отопление. Это привело к снижению уровня вентиляции зданий: во многих случаях суточная (!) кратность воздухообмена снизилась до 0,2 сут<sup>-1</sup>. При такой кратности загрязнение воздуха внутри помещения оказывается значительно большим, чем снаружи.

Для внутренних помещений наиболее опасны радон (Rn), монооксид углерода (CO), твердые частицы и органические вещества.

Радон в форме изотопа Rn<sup>226</sup> - газ, образующийся при радиоактивном распаде урана, источник  $\alpha$ -излучения, продукты его распада также  $\alpha$ -радиоактивны. Они легко вдыхаются с пылью, вызывая опасное внутреннее  $\alpha$ -облучение. Радон образуется из урана, содержащегося в кирпиче и бетоне. Вентиляция помещения обеспечивает его эффективное удаление.

Монооксид углерода опасен в домах с дровяным и угольным отоплением, а также при курении в помещении, см. разд.2.5.4.

Из органических веществ, выделяющихся в воздух помещений, наиболее опасен формальдегид, входящий в состав древесностружечных и древесно-волоконистых плит. Уже при концентрации формальдегида менее 1 млн<sup>-1</sup> могут появиться слезотечение, раздражение носоглотки, гортани и легких, головные боли, чувство усталости, общее недомогание. При недостаточном проветривании возможно развитие онкологических заболеваний. Особая осторожность должна соблюдаться при использовании современных строительных материалов: напольных покрытий (паркет и паркетная доска, ламинат, линолеумы, ковролин), керамической плитки с «газящими» клеями, недоброкачественных моющих, виниловых обоев, изделий (например, покрытий) из пластика, недоброкачественных красок. Данные стройматериалы даже при нормальной температуре и особенно при солнечном свете выделяют

значимые количества вредной органики: толуол, ксилол, ацетон, формальдегид, фенол, бензол, поливинил и многое другое. Эти вещества вызывают поражение кожи, нервной и иммунной систем, печени, почек и других органов, онкологические заболевания.

## **2.6. Ущерб от загрязнения окружающей среды**

Ущерб, который наносится окружающей среде производственной деятельностью человека, совершенно очевиден: деградация и гибель экосистем, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, значимое ухудшение здоровья населения из-за плохого качества питьевой воды, вредных газовых примесей в атмосферном воздухе, загрязненных продуктов сельского хозяйства, разрушительного воздействия на объекты народного хозяйства (здания, сооружения, оборудование промышленных предприятий, жилые дома, здания учреждений представительной и других ветвей власти, культуры, хозяйственного обеспечения населения) и т.д.

Очевидна и необходимость оценивания величины этого ущерба. Так, при проектировании нового производства неизбежно возникает вопрос о его воздействии на окружающую среду и человека. При рассмотрении разных вариантов проекта уровень воздействия производства на природу, человека, материальное производство, коммунальные ценности и проистекающий из этого ущерб от загрязнения окружающей среды в большом числе случаев будет одним из самых значимых или решающих факторов при выборе окончательного варианта.

Пафос деятельности всех участников движения за преодоление глобального экологического кризиса – от ООН, разрабатывающей стратегию действий в масштабах всей планеты, до фермера, производящего товарную продукцию с использованием машин, топлива, удобрений, пестицидов – заключается, в конечном счете, в минимизации этого ущерба. И то счастливое время в истории Земли, когда названный ущерб будет уменьшен до приемлемого уровня, станет, по-видимому, временем преодоления кризиса.

Поскольку уменьшение ущерба достигается в результате применения природозащитных мероприятий, ниже рассмотрен общий путь определения экономической эффективности применения природозащитных мероприятий, а также смысл эколого-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды и методы его оценки.

Начнем с определения экономической эффективности (Э) одного варианта проекта производства товарной продукции по отношению к другому варианту проекта производства такой же продукции. Величина

Э традиционно определяется по разности приведенных затрат,  $Z_1$  и  $Z_2$ , для данных вариантов проекта производства:

$$\Delta = Z_1 - Z_2.$$

Приведенные затраты вычисляются как

$$Z = C + E_n K,$$

где  $C$  – себестоимость продукции;  $K$  – капитальные вложения в производство;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

Эффективность природозащитных мероприятий определяется другим образом. К ним относятся все виды хозяйственной деятельности, направленные на уменьшение или ликвидацию негативного воздействия на окружающую среду, сохранение, улучшение и рациональное использование природных ресурсов: строительство и эксплуатация очистных и обезвреживающих сооружений, развитие малоотходных технологических процессов, обустройство предприятий и транспортных потоков с учетом экологических требований, рекультивация земель, меры по борьбе с эрозией почвы, по охране и воспроизводству флоры и фауны, охране недр и рациональному использованию природных ресурсов.

Экономическая эффективность осуществления природозащитных мероприятий зависит от затрат на природоохранные мероприятия и от уменьшения ущерба, наносимого окружающей среде.

Значит, в расчетах экономической эффективности природозащитных мероприятий необходимо дополнительно к затратам на природозащитные мероприятия ввести величину ущерба окружающей среде ( $Y$ ), который появляется на самом предприятии или в других отраслях. Тогда совокупный ущерб, или убытки, наносимые обществу загрязнением окружающей среды,  $Y$ , составят

$$Y = Z + Y,$$

а экономическая эффективность природозащитных мероприятий выразится как

$$\Delta = (Z_1 + Y_1) - (Z_2 + Y_2),$$

где  $Z_1$ ,  $Y_1$  – затраты на природозащитные мероприятия ( $Z_1$ ) и экономический ущерб окружающей среде ( $Y_1$ ) за предыдущий отчетный период (год),  $Z_2$ ,  $Y_2$  – аналогичные величины для следующего отчетного периода.

Пример. Пусть некоторое крупное химическое производство в 2007 г. своими выбросами нанесло экономический (эколого-экономический) ущерб размером  $Y_1 = 100$  млн. руб. Одновременно в начале 2008 г. были введены в действие эффективные сооружения газоочистки стоимостью  $Z_2 = 20$  млн. руб. Оценка экономического ущерба в конце 2008-го года дала величину  $Y_2 = 30$  млн. руб. Следовательно, эко-

номическая эффективность введения новых средств газоочистки составляет

$$(Z_1 + Y_1) - (Z_2 + Y_2) = (0 + 100) - (20 + 30) = 50 \text{ млн. руб.}$$

Под ущербом понимают потери, возникающие в результате негативных изменений в окружающей среде (например, при загрязнении воздушной среды под воздействием антропогенной деятельности).

Существует понятие экологического (натурального) ущерба, спектр последствий которого многообразен – от ухудшения здоровья населения из-за загрязнения воздуха или некачественной питьевой воды до ускоренной коррозии металлических конструкций, снижения продуктивности сельскохозяйственных угодий и т.д.

В настоящее время выделяют три вида экологического ущерба:

- материальным объектам (в секторах производства и потребления);
- здоровью и жизни людей (из-за повышения заболеваемости населения, потери его трудоспособности, повышения смертности населения);
- природно-ресурсной системе (земельным, лесным, рыбным ресурсам, особо охраняемым природным территориям, рекреационным зонам).

Под экономическим (эколого-экономическим) ущербом понимается денежная оценка последствий антропогенного загрязнения окружающей среды. Эта оценка не является величиной абсолютно точной, но в экономике приближенные значения используются часто. Данная оценка позволяет сравнить убытки от загрязнения с затратами на предотвращение загрязнения путем осуществления природоохранных мероприятий (совершенствование технологии производства, установка газо- и водоочистных аппаратов и т.д.).

В настоящее время различают три вида экономического ущерба, наносимого окружающей среде: фактический, возможный, предотвращенный.

Фактический ущерб ( $Y_{\text{ф}}$ ) – фактические потери, причиняемые народному хозяйству в результате загрязнения окружающей среды.

Возможный ущерб ( $Y_{\text{в}}$ ) – ущерб народному хозяйству, который мог бы быть нанесен при отсутствии природо-защитных мероприятий.

Предотвращенный ущерб ( $Y_{\text{пр.}}$ ) – снижение потерь, причиняемых народному хозяйству в результате введения в действие природо-защитных мероприятий:

$$Y_{\text{пр.}} = Y_{\text{в}} - Y_{\text{ф}}$$

В вышеприведенном примере предотвращенный ущерб составил  $Y_{\text{пр.}} = Y_{\text{в}} - Y_{\text{ф}} = Y_1 - Y_2 = 100 \text{ млн. руб.} - 30 \text{ млн. руб.} = 70 \text{ млн. руб.}$

Существует несколько методов оценки экономического ущерба от

загрязнения природной среды.

По методу прямого счета денежная оценка ущерба  $U$  от загрязнения окружающей среды объемом ( $V$ ) вредных выбросов (сбросов, твердых отходов) может быть представлена в следующем виде:

$$U = U_1(V) + U_2(V) + \dots + U_n(V),$$

здесь  $U_1$  – экономический ущерб, наносимый годовым выбросом загрязнений в атмосферный воздух,  $U_2$  – экономический ущерб, наносимый годовым сбросом загрязнений в объекты гидросферы и т.д.

Последовательность этапов расчета по методу прямого счета:

1. определение уровня загрязнения окружающей среды;
2. определение натурального ущерба, например, определение степени вредного воздействия загрязнений на здоровье человека, на виды растительности, на рыбные ресурсы, на коррозию производственного оборудования и т.д.;
3. определение собственно экономического ущерба;
4. заключительный этап.

На первом этапе, например, для случая вредных выбросов, определяются сначала массы образующихся загрязняющих веществ (ЗВ), затем массы ЗВ, поступающих в атмосферу (при прохождении аппаратов газоочистки большая часть ЗВ улавливается, и в атмосферу поступает только небольшая часть ЗВ), затем производится расчет распределения ЗВ в приземном воздухе. При этом определяется эффективная площадь загрязненной территории.

На втором этапе определяется весь спектр объектов воздействия ЗВ: люди, представители фауны и флоры, объекты промышленности, жилищного и коммунального хозяйства, сельского, лесного хозяйства и дикой природы и т.д., т.е. все те объекты хозяйственной деятельности и природной среды, которые расположены на эффективной площади загрязнения. Оценка экологического (натурального) ущерба проводится на основе сбора данных, характеризующих воздействие ЗВ на названные объекты (реципиенты). Для количественной оценки экологических ущербов используются, в основном, два метода.

В методе сопоставления сравнивается состояние одинаковых объектов в рассматриваемом загрязненном и незагрязненном районах за последние 3-5 лет. Установленный уровень эффекта негативного воздействия ЗВ на объекты в загрязненном районе и дает количественную оценку экологического (натурального) ущерба.

В методе эмпирических зависимостей используются экспериментальные данные о влиянии ЗВ, например, диоксида серы  $SO_2$ , на интересующий показатель состояния объекта (уровень разрушения поверхности стен производственных и жилых зданий, снижения урожайности

с/х культуры, отклонения параметров системы органов дыхания у населения и т.п.).

На третьем этапе экологический ущерб трансформируется в экономический ущерб. Например, снижение урожайности пшеницы на 15% при определенной концентрации диоксида серы легко переводится в денежные убытки производителя пшеницы на основе рыночных цен.

При этом каждый фактор загрязнения действует на несколько реципиентов. Например, диоксид серы действует и на население, и на строения, и на технологическое оборудование, и на представителей флоры и фауны. Для простоты изложения вопроса о расчете экономического ущерба положим, что на рассматриваемой территории источником ЗВ являются только выбросы в атмосферу, в выбросах содержатся  $n$  значимых ЗВ, в окружающей среде, на площади загрязнения, –  $m$  реципиентов. Обозначим уровень экологического фактора как  $x_i = 1, 2, \dots, n$ , а денежную оценку негативного воздействия  $i$  – го фактора на  $k$  – й реципиент – как  $p_{ik}$ , где  $k = 1, 2, \dots, m$ . Тогда экономический ущерб  $У$  составит как сумма отдельных видов ущерба: ущерб от действия 1-го ЗВ на каждый из  $m$  реципиентов, т.е.  $x_1 \cdot \sum p_{1k}$ , от 2-го ЗВ,  $x_2 \cdot \sum p_{2k}$ , и т.д., или

$$У = \sum x_i \cdot \sum p_{ik}.$$

На заключительном этапе анализируются факторы, негативное воздействие которых на компоненты окружающей среды в настоящее время еще не может быть оценено в денежной форме: отсутствуют более или менее надежные данные, которые можно получить по упомянутым методам сопоставления или эмпирических зависимостей.

В целом, за кажущейся простотой концепции и схемы оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды по методу прямого счета скрываются большие сложности при практическом его использовании: большого труда стоят как определение экологического (натурального) ущерба, так и денежная оценка негативного воздействия  $i$  – го фактора на  $k$  – й объект негативного воздействия.

В настоящее время для определения экономического ущерба от загрязнения окружающей среды широко используются метод укрупненного счета (метод приведения всех ЗВ, воздействующих на объекты окружающей среды, к «монозагрязнителю»).

При использовании данного метода выделяют три геосферы: атмо-, гидро-, литосфера (земля и недра), по которым имеются государственные и отраслевые укрупненные оценки удельного ущерба и другие нормативы.

Воздушный бассейн из-за своей непрерывности обладает большими, по сравнению с гидросферой, возможностями для самоочищения от ЗВ. С другой стороны, он оказывает влияние на другие геосферы, что

приводит к ухудшению среды обитания населения, растительных и животных организмов, к нанесению ущерба объектам производственной и коммунальной сферы.

Загрязнение водоемов – это ухудшение качества воды, т.е. нанесение ущерба водопотребителям, водопользователям и водным экосистемам.

Нарушение и загрязнение земельных ресурсов вызываются не только изъятием земель для сельскохозяйственного и промышленного производства, но и загрязнением воздушного и водного бассейнов.

При оценке ущерба от загрязнения атмосферы от всякого источника используется формула:

$$Y_{\text{атм.}} = \gamma \cdot \delta \cdot f \cdot M,$$

где  $Y_{\text{атм.}}$  – ущерб от загрязнения атмосферы, руб.,

$\gamma$  – денежная оценка ущерба от загрязнения атмосферы массой ЗВ (агрегированного, т.е. приведенного к «монозагрязнителю»), равной одной тонне, руб/ усл. т; численное значение ее изменяется в зависимости от уровня цен;

$\delta$  – коэффициент относительной опасности, зависящий от типа территории: для курортов, заповедников – 10, пригородных зон и зон отдыха – 8, для населенных мест с плотностью населения  $n$ , чел/га, коэффициент  $\delta$  определяется как  $n \cdot (0,1 \text{ га/чел.})$ , при плотности населения  $> 300$  чел./га значение  $\delta$  составляет 8; территории промышленных предприятий и промышленных узлов – 4; леса 1-й, 2-й, 3-й групп – соответственно 0,2; 0,1; 0,025; пашни – южнее  $50^\circ$  с. ш. – 0,25, центрально-Черноземный район, южная Сибирь – 0,15, прочие районы – 0,1; сады, виноградники – 0,5; пастбища, сенокосы – 0,005;

$f$  – безразмерный множитель, учитывающий характер рассеивания вещества в атмосфере, его значение зависит от скорости оседания частиц, высоты выброса от земли, температуры;

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i - \text{приведенная масса годового выброса ЗВ из источника, усл. т/год, здесь } n - \text{общее число учитываемых ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, } m_i - \text{масса годового выброса } i\text{-го ЗВ, т/год, } A_i - \text{безразмерный показатель относительной активности } i\text{-го ЗВ (приведения к «монозагрязнителю»), для основных ЗВ значения } A_i \text{ следующие: монооксид углерода -1, сернистый ангидрид - 22, сероводород - 54,8, серная кислота - 49, окислы азота в пересчете по массе на } NO_2 - 41,1, \text{ аммиак - 10,4, летучие низкомолекулярные углеводы по углероду (ЛНУ) - 3,16, ацетон - 5,55, ацетальдегид - 41,6, фенол - 310, 3,4 - бенз(а)пирен - } 12,6 \cdot 10^5.$$

Пример. Дать оценку экологического ущерба от загрязнения атмосферы выбросами за три года, таблица 2-6. Известно, что на территории загрязненного региона населенные пункты с плотностью населения более 300 человек/га занимают 5% загрязненной площади, заповедники – 12%, пригородные зоны отдыха и дачные участки – 10%, леса 1 и 2 групп – 16% и 20%, промпредприятия-4%, пашни (центрально-Черноземный район) – 19%, пастбища и сенокосы – 14%.

Согласно логике метода укрупненного счета перемножаем значения выбросов ЗВ на «свои» значения показателя  $A_i$  : 1 – для CO, 54,8 – для H<sub>2</sub>S и т.д. и суммируем получившиеся величины по годам. Получились величины 5510,36, 4996,00, 5115,98 тысяч усл. т ЗВ в 1998, 1999 и 2000 гг., приведенных к «монозагрязнителю». Далее вычисляем значение эффективного коэффициента относительной опасности  $\delta_{эфф.}$  – как средневзвешенное значений коэффициента  $\delta$  территорий разных типов: для населенных пунктов с > 300 чел./га  $\delta = 8$ , для заповедников – 10 и т.д. Значит,

$$\delta_{эфф.} = (5\% \cdot 8 + 12\% \cdot 10 + 10\% \cdot 8 + 16\% \cdot 0,2 + 20\% \cdot 0,1 + 4\% \cdot 4 + 19\% \cdot 0,15 + 14\% \cdot 0,05) / 100\% = 2,65.$$

Таблица 2.6

*Выбросы приоритетных загрязняющих веществ в 1998-2000 гг*

Наименование вещества	Объемы выбросов по годам, тыс. т.		
	1998	1999	2000
Моноксид углерода	120	130	160
Сероводород	54	36	30
Окислы азота	18	24	31
ЛНУ	86	90	78
Окислы алюминия	42	48	53

Положим, что  $f=1$ ,  $\gamma=20$  руб./усл.т. Тогда экономические ущербы для рассматриваемой территории от загрязнения атмосферного воздуха в 1998, 1999 и 2000 гг. составляют:

$$Y_{1998}, \text{руб.} = \gamma, \text{руб./усл.т} \cdot \delta_{эфф.} \cdot f \cdot M_{1988}, \text{усл.т} = 20 \cdot 2,65 \cdot 1 \cdot 5,51036 \cdot 10^6 = 292,05 \text{ млн. руб.}$$

Аналогично,  $Y_{1999} = 264,79$  млн. руб.;  $Y_{2000} = 271,15$  млн.руб.

Подобный же принцип с использованием концепции «монозагрязнителя» положен с основу экономической оценки ущерба от загрязнения водоемов.

Экологический (эколого-экономический) ущерб от ухудшения и разрушения почв и земель над воздействием антропогенных (техногенных) нагрузок выражается, в основном, в:

- деградации почв и земель;
- загрязнении земель химическими веществами;
- захламление земель несанкционированными свалками, другими видами несанкционированного и нерегламентированного размещения отходов.

Оценка величины экономического (эколого-экономического) ущерба от деградации почв и земель производится по формуле

$$Y = H_c \cdot S \cdot K_s \cdot K_n$$

Здесь  $Y$  - величина ущерба за отчетный период времени, тыс. руб./год;  $H_c$  – норматив стоимости земель, тыс.руб./га;  $S$  – площадь почв и земель, подвергавшаяся деградации за отчетный период времени, га;  $K_s$  – безразмерный коэффициент экономической ситуации и экологической значимости территории;  $K_n$  – коэффициент для особо охраняемых территорий.

По такому же принципу определяется экономический ущерб от загрязнения земель, например, несанкционированными свалками.

Экономическая оценка ущерба биоресурсам (растениям и животным) производится по изменению численности каждого из значимых видов биоресурсов с учетом таксы за ущерб по каждому виду. Установлены таксы для определения размера взыскания за ущерб, причиненный физическими или юридическими лицами незаконным добыванием или уничтожением ценных видов рыбы, некоторых млекопитающих, птиц.

## **2.7. Концепция устойчивого развития как инструмент преодоления глобального экологического кризиса**

Как уже отмечалось выше, осознание человечеством наступления экологического кризиса началось со второй половины 20-го века. Возможно, ключевым моментом процесса осознания наступления кризиса стал печально знаменитый Лондонский смог зимой 1952 года, унесший около 5000 жизней жителей города. Практически с этого момента начались обстоятельные исследования процессов образования и распространения вредных отходов производства в биосфере, формирование нормативов содержания вредных веществ в приземном воздухе, в водных объектах, в почвах и, в целом, основ природозащитного законодательства, проектов эффективного противодействия загрязнению биосферы. Вопросы преодоления экологического кризиса быстро приобрели международное звучание, вышли на уровень ООН. Среди

основных вех деятельности мирового природозащитного движения уместно отметить его (движения) обращения к учению В.И. Вернадского о ноосфере, возникновение и активную информационно-исследовательскую деятельность Римского клуба, выход книги американских исследователей “Пределы роста”, ряд конференций и совещаний ООН по окружающей среде, деятельность Комиссии ООН по вопросам окружающей среды и развитию Г.Х. Брундтланд и ее доклад “Наше общее будущее”, наконец, Конференцию ООН по окружающей среде и развитию в 1992г., в Рио-де-Жанейро. На этой беспрецедентной по своему составу конференции (в ней участвовали первые лица около 200 государств) приняты основополагающие документы, определяющие совместные согласованные действия всех стран по выходу из экологического кризиса. Основным стал документ “Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию”, в котором представлены итоги 40-летних исследований феномена глобального экологического кризиса, анализа их результатов и различных проектов по преодолению кризиса, а также сущность и цели сформированной на этой основе концепции устойчивого развития (КУР).

Из КУР следует, что само по себе осознание необходимости изменить отношение к природной среде не может быть направлено на замедление или даже прекращение техногенных процессов. Научно-технический прогресс, как и человеческую мысль, в целом, остановить невозможно. Не свертывать промышленную деятельность, но координировать ее в соответствии с закономерностями функционирования природных систем. Для этого необходимо изучить сами закономерности функционирования природных систем; ближайшие и долгосрочные негативные последствия антропогенного воздействия и предельные нагрузки на природную среду, еще не наносящие ей необратимых негативных изменений; определить, как избежать разрушительного антропогенного воздействия путем разумного ограничения деятельности, совершенствования технологий, восстановления нарушенных природных систем.

Акции мирового сообщества по преодолению экологического кризиса реализуются, в основном, по сценарию, предусматриваемому КУР: разработаны жесткие международные экологические стандарты, целям КУР служит созданная на основе Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ, 1947г.) Всемирная торговая организация (ВТО, 1995г.), в рамках которой преимущества в торговле получают производители, прошедшие процедуру сертификации на соответствие экологическим стандартам, то есть подтвердившие высокую экологичность своих технологий и товаров, а также систем экологического

управления (систем экологического менеджмента). Этому способствует Соглашение о технических барьерах в торговле (СТБТ, 1993г.). В контексте КУР осуществляются, в частности, согласованные действия всех стран по уменьшению выбросов углекислого газа для предотвращения глобального потепления – согласно Киотскому протоколу (согласован в 1997г., вступил в силу в 2005г.). Цель прошедшей в декабре 2009г. конференции ООН по проблемам климатических изменений – заключить новое Соглашение по глобальному потеплению и сформировать новый вариант протокола Киото.

## **Глава 3. Нормативно-правовые основы защиты окружающей среды**

### **3.1. Принципы организации охраны окружающей среды и ее правовой защиты**

Недавняя абсолютная монополия государственной собственности на природные ресурсы в бывшем СССР способствовала развитию экологического кризиса и в бывшей (советской) Российской Федерации, и в современной России. Например, финансирование природозащитных мероприятий осуществлялось по остаточному принципу, так что в последние 10–15 лет существования Советского Союза на защиту окружающей среды отпускалось лишь порядка 10% необходимых для этого средств.

Переход к рыночной экономике создает предпосылки к упорядочению экологического права, т.е. организации охраны окружающей среды и ее правовой защиты. Однако реализация данных предпосылок не может осуществляться автоматически и неразрывно связана с социально-экономическими процессами в обществе.

#### **3.1.1. Органы охраны окружающей природной среды**

Органы управления охраной окружающей среды разделены на две категории: общей и специальной компетенции.

К государственным органам общей компетенции относятся Президент Российской Федерации, Федеральное Собрание РФ, Правительство РФ, представительные и исполнительные органы власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления.

К государственным органам специальной компетенции относятся те, которые специально уполномочены выполнять порученные природоохранные (природозащитные) функции. В свою очередь, по-

следние подразделяются на комплексные, отраслевые, функциональные. Первые решают все природозащитные задачи или крупный блок их, деятельность вторых связана с определенными группами природных объектов, третьи выполняют определенную функцию или несколько родственных в отношении всех природных объектов.

Министерство природных ресурсов и экологии РФ ( первые природозащитные ведомства были созданы как государственные комитеты по охране окружающей среды бывшего СССР и союзных республик в 1988 г., после ряда преобразований в 1994г. создано Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, последующая эволюция этого ведомства привела к сегодняшнему Министерству в 2008 г.) – комплексный и головной орган всей системы специально уполномоченных органов защиты окружающей среды. В настоящее время в него входят следующие федеральные службы и агентства:

- Федеральная служба по надзору в сфере природопользования;
- Федеральная служба по экологическому, технологическому, и атомному надзору;
- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
- Федеральное агентство по недропользованию;
- Федеральное агентство водных ресурсов.

По своим функциям Минприроды (краткое название Министерства) имеет три особенности. Первая состоит в комплексном выполнении контрольно-инспекционных функций. Другая особенность заключается в том, что Минприроды не относится к числу хозяйственных министерств и не управляет использованием природных ресурсов. Отсюда следует его третья особенность – функция экологического контроля, осуществляемая Министерством, оторвана от управления эксплуатацией природных ресурсов.

Как следует из перечня федеральных служб и агентств Минприроды, комплексную природозащитную функцию выполняют, прежде всего, федеральные службы по надзору в сфере природопользования и по гидрометеорологии и мониторингу окружающей природной среды. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору относится к ряду функциональных специально уполномоченных органов, в который также входят Государственный таможенный комитет (ГКТ России) и Министерство внутренних дел (МВД России). Два федеральных агентства Минприроды относятся к отраслевым специально уполномоченным природозащитным органам.

Другим комплексным органом системы специально уполномочен-

ных органов охраны окружающей среды является Министерство сельского хозяйства, в которое входят Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору и два Федеральных агентства: лесного хозяйства и рыболовства. Здесь комплексную природозащитную функцию выполняет Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, в ее функции входят: государственный земельный контроль – сельскохозяйственные земли, государственный лесной контроль в лесничествах и лесопарках, надзор за субъектом РФ по лесному контролю, государственный пожарный надзор в лесах, обеспечение плодородия почв, контроль за безопасным обращением с пестицидами и агрохимикатами, контроль за качеством зерна. Федеральное агентство по рыболовству относится к отраслевым специально уполномоченным органам и занимается охраной, контролем и надзором за водными биологическими ресурсами и средой их обитания. Федеральное агентство лесного хозяйства также относится к отраслевым специально уполномоченным природозащитным органам и занимается государственным лесным контролем и надзором, предоставлением лесных участков в пользование, организацией охраны, защиты, воспроизводством лесов на землях лесного фонда.

К комплексным органам также относится Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Он координирует деятельность организаций в области санитарной охраны окружающей среды, разрабатывает санитарные нормативы и правила, ведет надзор за их выполнением, обеспечивает соответствующее информирование населения.

Определенную роль в организации защиты окружающей среды играет экологическое движение. В России оно существует в следующих организационных формах:

- добровольные общества: Российское общество охраны природы, Общество защиты животных и т.п., всего в Российской Федерации действуют около 800 экологических объединений, в том числе региональных;
- союзы: Экологический союз, ассоциация «Экология и мир», Экологический центр и др.;
- фонды: Экологический Фонд им. академика В.И. Вернадского, Фонд Байкала и т.д.;
- самодеятельные организации-клубы, частные организации по оказанию экологических услуг;
- конструктивно-экологическое движение «Кедр».

При всем многообразии форм экологического движения все его ор-

ганизации решают главные задачи: распространение экологических знаний, экологическое воспитание, участие в решении конкретных экологических задач, в общественном экологическом контроле.

Многоуровневая система защиты окружающей среды существует во всех развитых странах. Так, в США комплексным и головным органом всей природозащитной системы является Агентство по защите окружающей среды (US Environmental Protection Agency), под его руководством действует разветвленная система специально уполномоченных органов. Действует также мощное экологическое общественное движение.

Осознание обществом сначала неблагополучия в состоянии окружающей среды, а в последующем, в середине двадцатого века, возникновения и развития глобального экологического кризиса вызвало волну формирования целого ряда международных природозащитных организаций. Их можно разделить на три группы: **природоохранительного направления** – Программа ООН по окружающей среде, ЮНЕП (United Nations Environment Programme, UNEP), 1972 г., Международный союз охраны природы и природных ресурсов, МСОП (The World Conservation Union, WCU или IUCN, (фр.), 1947, Международная общественная организация «Зеленый мир» (GREENPEACE), 1971 г.; **комплексного природоохранительного профиля** – Сельскохозяйственная и продовольственная организация Объединенных Наций, ФАО (Food and Agriculture Organization, FAO), 1945г., Всемирная организация здравоохранения, ВОЗ (The World Health Organization, WHO), 1946 г., Всемирная метеорологическая организация, ВМО (World Meteorological Organization, 1946 г.; **специального природоохранительного профиля** – Международное агентство по атомной энергии, МАГАТЭ (International Atomic Energy Agency, IAEA), 1957 г., Международный регистр потенциально токсичных химических веществ, МРПТХВ (International Register of Potentially Toxic Chemicals, IRPTC), создан как часть ЮНЕСКО, Организации объединенных наций по вопросам образования, науки, культуры (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO), 1946 г., собравший информацию о более чем 600 таких веществ, и другие международные организации, организующие охрану морей от загрязнения, рыбных запасов, перелетных птиц и т. п.

### 3.1.2. Содержание экологических правоотношений

Экологические правоотношения складываются в результате взаимодействия субъектов (участников) данных правоотношений – государства, юридических и физических лиц, воздействующих на природную среду (хозяйствующих субъектов), и природных объектов. Содержание

экологических правоотношений заключается в правах и обязанностях участников по использованию и охране окружающей среды. По содержанию прав и обязанностей все субъекты экологических отношений подразделяются на четыре категории: природопользователи; органы представительной и исполнительной власти, регулирующие и контролирующее использование природных ресурсов; общественные экологические объединения; органы судебно-прокурорского надзора.

Особенности содержания экологических правоотношений зависят от характера природных объектов, к которым они применяются (поэтому выделяются земельное, водное, лесное и т.п. экологические права). Особо выделяются отраслевые права. Наряду с отраслевыми выделяются комплексные полномочия относительно охраны природной среды в целом. Носителями таких полномочий являются специальные органы государства (Минприроды РФ) и все хозяйствующие субъекты.

В юридическом отношении объекты экологического права подразделяются на природные объекты, природные ресурсы и природные комплексы,

К дифференцированным природным объектам относятся земля, недра, воды, атмосферный воздух, леса и иная растительность, животный мир.

Земельный фонд России, составляющий (на 01.04.2004 г.) 1709,8 млн. га, подразделяется на земли лесного фонда (64,6%), сельскохозяйственного назначения (23%), населенных пунктов (1,1%), водного фонда (1,6%), земли промышленного и иного специального назначения (1%), земли особо охраняемых территорий и объектов (2%) и земли запаса (6,7%).

Все леса лесного фонда состоят из трех групп. К первой группе относятся леса особо охраняемые, заповедные, выполняющие защитные, санитарные, оздоровительные функции. В таких лесах запрещается промышленная заготовка древесины. Ко второй группе относятся леса районов с высокой плотностью населения, леса районов с недостаточными лесными ресурсами. В этих лесах допускается заготовка древесины лишь в пределах расчетной лесосеки. Остальные леса относятся к третьей группе. В них заготовка древесины разрешена, но без ущерба для экологической функции леса.

Земли сельскохозяйственного назначения рассматриваются как наиболее ценные, особенно пахотные земли с большим запасом гумуса.

Природные ресурсы - это источник экономического потребления человеком природных ценностей. Все природные ресурсы подразделяются на исчерпаемые и неисчерпаемые, возобновляемые и невозобновляемые. К исчерпаемым относятся земельные, лесные, водные, мине-

ральные и фаунистические ресурсы, к неисчерпаемым - солнечные, климатические, энергетические, геотермальные. К возобновляемым, через воспроизводство, относятся лесные, животного мира, рыбные запасы. К невозобновляемым - минеральные и (частично) водные и почвенные.

Природные комплексы состоят из заповедников, заказников, национальных и природных парков, памятников природы, лесопарков, курортных, пригородных и зеленых зон, а также типичных и редких ландшафтов.

Переход к рынку породил многообразие форм собственности, в том числе и на природные ресурсы. В настоящее время выделяются следующие их виды: государственная (федеральная, республиканская и областная, муниципальная) и частная собственность граждан и юридических лиц. Особое значение имеет разграничение прав собственности на землю и природные ресурсы. В частности, объекты общеэкологического значения, как правило, относятся исключительно к федеральной собственности.

Наряду с правом собственности на экологические объекты существует право природопользования. Под природопользованием понимается использование полезных для человека свойств окружающей природной среды: экологических, экономических, культурных, оздоровительных. Соответственно, существуют три формы природопользования – экономическая (ведущая), экологическая и культурно-оздоровительная. Эти формы реализуются в двух видах: общего и специального природопользования.

Общее природопользование не требует специального разрешения и осуществляется гражданами в силу их естественных прав существования.

Специальное природопользование реализуется гражданами и хозяйствующими субъектами на основе разрешений компетентных государственных органов. Оно носит целевой характер и по видам используемых объектов подразделяется на землепользование, пользование недрами, лесопользование, водопользование, пользование животным миром, использование атмосферного воздуха.

Специальное природопользование связано с потреблением природного ресурса, и поэтому его регулирование согласуется с отраслевым природоресурсным законодательством - Земельным кодексом, Основами лесного законодательства, Законом о недрах, Водным кодексом. Законом об использовании и охране животного мира, Законом об охране атмосферного воздуха.

Право потребления природного ресурса приобретается путем лицензирования. Лицензия выдается на каждый вид деятельности. Срок ее действия, как правило, один год. Различают природоресурсные лицензии, лицензии на использование земель, вод, недр, лесов, атмосферного воздуха, животного мира.

Например, как экологический ресурс воздух используется при складировании газообразных отходов или выбросов вредных веществ. Система лицензирования предприятия на право осуществлять выбросы заключается в успешном проведении им следующих процедур:

- инвентаризация выбросов вредных веществ;
- определение предельно допустимых норм выбросов вредных веществ;
- установление суточного и годового лимитов выбросов объекта;
- получение разрешения на выброс с указанием лимитов, нормы и срока действия.

Так, в Томской области (ТО) лицензии на пользование объектами животного мира, разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух для предприятий регионального контроля, квоты на вылов водных биоресурсов выдает Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Администрации ТО. Он же организует конкурсы по предоставлению рыбопромысловых участков для промышленного рыболовства. Лицензии на добычу общераспространенных полезных ископаемых, минеральных и термальных вод выдает Департамент по недропользованию и развитию нефтедобывающего комплекса Администрации ТО. Лесные участки в пользование предоставляет Департамент развития предпринимательства и реального сектора экономики Администрации ТО.

Как и лицензирование, лимитирование использования и потребления природных ресурсов обусловлено ограниченностью запасов природных ресурсов и необходимостью их рационального использования и воспроизводства. Природопользование может осуществляться по двум направлениям: изъятие природного вещества из природы и внесение антропогенного вещества в природу. Отсюда лимитирование природопользования подразделяется на два вида: предельно допустимые нормы изъятия природного вещества; предельно допустимые нормы выбросов (сбросов) вредных веществ в природную среду.

В Томской области установление предельно-допустимых выбросов и выдача разрешений на выбросы загрязняющих веществ для предприятий (объектов) федерального значения, а также установление лимитов на размещение отходов и выдача лицензий в сфере обращения с отхо-

дами осуществляется Западно-Сибирским управлением Ростехнадзора по ТО Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, выдача лицензий на пользование недрами (кроме общераспространенных полезных ископаемых) – управлением по недропользованию по ТО Федерального агентства по недропользованию, установление нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты – отдел водных ресурсов по ТО Федерального агентства водных ресурсов.

Широкое распространение получает договорная форма природопользования. Наибольшее развитие приобретает арендная форма договора.

## **3.2. Законодательство в области охраны окружающей среды**

В систему правовой охраны природы в РФ входят четыре группы юридических мероприятий:

- правовое регулирование отношений по поводу использования, сохранения и восстановления природных ресурсов;
- организация обучения и воспитания кадров, финансирование и материально-техническое обеспечение природоохранных действий;
- государственный и общественный контроль выполнения требований охраны природы;
- юридическая ответственность правонарушителей.

### **3.2.1. Экологическое законодательство России**

Совокупность природоохранных норм и правовых актов образует природоохранительное законодательство. Юридическую базу его составляет Основной Закон РФ – Конституция Российской Федерации.

Принятая 12 декабря 1993 г., Конституция России устанавливает трехзвенное определение экологической деятельности человека: природопользование, охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Центральное место в Конституции РФ занимает ст. 9, ч. 1, где говорится, что земля и другие природные ресурсы используются и охраняются как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории.

Ст. 42 закрепляет право каждого человека на благоприятную окружающую среду и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью и имуществу.

Ст. 9, ч. 2 провозглашает право граждан и юридических лиц на частную собственность на землю и другие природные ресурсы.

В соответствии со ст. 72 (п.п. 3,в и 3,д) пользование природными ресурсами, охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности являются совместной компетенцией Федерации и субъектов Федерации. Разграничение обеспечивается договорными положениями.

Основу природоохранительного законодательства составляет Закон об охране окружающей природной среды, принятый 19 декабря 1991 г., последняя редакция Закона принята в 2002г. Он призван обеспечить реализацию экологических прав человека, закрепленных Конституцией. В ст. 3 Закона сформулированы основные принципы охраны природной среды: приоритет охраны жизни и здоровья; научно обоснованное сочетание экономических и экологических интересов; рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов; законность и неотвратимость наступления ответственности за экологические правонарушения; гласность в работе экологических организаций и связь их с общественными объединениями и населением, международное сотрудничество в сфере охраны окружающей природной среды.

На базе этих принципов охрана природной среды осуществляется несколькими способами, среди которых важное место занимает правовой способ (наряду с экономическим, естественно-научным, организационным, культурно-воспитательным и др.).

В законе зафиксировано право граждан РФ на благоприятную среду обитания. Закон регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности. В Законе впервые конкретно определены и четко разграничены понятия природная среда (совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов) и окружающая среда (кроме природной среды включает и антропогенные объекты), установлена обязанность их охраны. Кроме того, впервые дано понятие природных ресурсов. Они определены как компоненты природной среды, природные объекты и природно-антропогенные объекты, используемые при осуществлении хозяйственной и иной деятельности в качестве источников энергии, продуктов производства и предметов потребления и имеющие потребительскую стоимость.

Один из основных разделов Закона «Экономическое регулирование в области охраны окружающей среды» устанавливает принцип платности использования природных ресурсов. Размер платы зависит от превышения установленных лимитов природопользования, от того, каковы были при этом масштабы загрязнения окружающей среды. В ряде слу-

чаев предусмотрена плата за воспроизводство природных ресурсов (леса, рыбных запасов и т.д.).

Закон устанавливает также принципы нормирования качества окружающей природной среды, порядок проведения государственной экологической экспертизы, экологические требования к размещению, проектированию, реконструкции, вводу в эксплуатацию и эксплуатации предприятий. Отдельные разделы Закона посвящены чрезвычайным экологическим ситуациям; особо охраняемым территориям и объектам; принципам экологического контроля; экологическому воспитанию, образованию, формированию экологической культуры и научным исследованиям; разрешению споров в области охраны окружающей природной среды; ответственности за экологические правонарушения; порядку возмещения причиненного вреда.

В Законе установлены правовые нормы по осуществлению экологического страхования, в том числе обязательного, и экологической сертификации на соответствие природоохранным требованиям с целью обеспечения экологически безопасного ведения хозяйственной деятельности.

В Законе впервые установлены правовые нормы по осуществлению оценки воздействия на окружающую среду, учитывающие нормы международного права.

В ряде законодательных актов, направленных на охрану здоровья человека, экологические требования занимают ведущее место. Это, например, Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999 г.), Основы законодательства РФ «Об охране здоровья граждан» (1993 г.), Закон РФ «О защите прав потребителей» (1992 г.).

Из других законодательных актов в области охраны окружающей среды следует отметить Закон РФ «Об использовании атомной энергии» (1995 г.), Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» (1998 г.).

Наряду с природоохранительным разработана система природоресурсного законодательства. В него входят: Земельный кодекс РСФСР (1992), Водный кодекс РСФСР, Закон о недрах (19.02.1992), Основы лесного законодательства РФ (6.03.1993), Закон РСФСР об охране и использовании животного мира (1982), Закон РФ об экологической экспертизе (11.1995).

Система законов дополняется Указами Президента РФ. В первую очередь к ним следует отнести:

- Об охране природных ресурсов территориальных вод, континентального шельфа и экономической зоны РФ (5.05.1992);

- Положение о Государственном комитете санэпиднадзора РФ (19.11.1993);
  - О федеральных природных ресурсах (16.12.1993);
  - О государственном земельном кадастре (11.12.1993);
  - Об усилении государственного контроля за использованием и охраной земель при проведении земельной реформы (16.12.1993) и др.
  - Наряду с законами издаются подзаконные акты. К ним относятся Постановления Правительства РФ, такие как, например:
  - О Федеральном экологическом фонде РФ и экологических фондах на территории РФ (29.06.1992);
  - Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды (28.08.1992);
  - О государственном водном кадастре (23.04.1994);
  - Положение о санитарно-гигиеническом мониторинге (6.10.1994).
- К подзаконным актам относятся также ведомственные и отраслевые нормативы и инструкции, например:
- Строительные нормы и правила (СНиП);
  - Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН);
  - Правила и нормы застройки городов;
  - Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами;
  - Положение об охране рыбных запасов и т.д.

Законодательное творчество в экологической области находится в постоянном активном движении. Основные направления этого движения обозначены в Указе Президента РФ «О государственной стратегии в области охраны окружающей среды», 1994 г., в соответствии с которым намечена программа совершенствования экономического законодательства.

### **3.2.2. Природоохранительная ответственность**

Природоохранительная ответственность подразделяется на материальную (восстановление, возмещение ущерба); административную (предупреждение, штраф, изъятие орудий лова, лишение прав охоты и рыбной ловли, отстранение от должности для должностных лиц, приостановление деятельности для организаций); уголовную; дисциплинарную (для лиц, нарушающих служебные обязанности).

Таким образом, в экологическом праве различаются две группы методов воздействия: экономическое и административное. Если метод административно-правового воздействия исходит из отношения власти и подчинения, то экономический механизм опирается на материальную заинтересованность исполнителя.

Для облегчения реализации экономических механизмов эффективным средством является создание природоресурсных кадастров.

Кадастром природных ресурсов называется свод экологических, организационных и технических показателей, характеризующих количество и качество природного ресурса, состав и категории природопользователей. На базе кадастров определяется денежная оценка природного ресурса. Кадастры представляются по видам ресурсов и включают в себя: земельный, водный, лесной, природно-заповедный кадастры; кадастр месторождений полезных ископаемых; реестры рыбных, охотничьих, животных запасов; Красную книгу редких, исчезающих видов организмов; реестр загрязнителей и т.д.

Ввиду недостаточности федерального госбюджетного природоохранительного финансирования существенным источником денежных поступлений становятся внебюджетные экологические фонды. Сравнительно новой формой экономического механизма является экологическое страхование физических и юридических лиц на случай экологического и стихийного бедствия, аварий и катастроф. Оно подразделяется на обязательное и добровольное. Вводится новый вид добровольного страхования, где страхователями выступают причинители вреда (предприятия, потенциально опасные возможными авариями и катастрофами), которые вынуждены нести расходы по возмещению причиненного ущерба.

Все экологические правонарушения подразделяются на две группы - экологические преступления и проступки. Граница между ними определяется степенью общественной опасности – по трем признакам: наличие умысла, повторность, наличие причиненного вреда здоровью людей, сельскохозяйственному производству, биоте.

Особое место в системе экологического права занимает понятие экологического риска. Поскольку причинение вреда природной среде является неизбежным результатом человеческой деятельности, постольку общество заинтересовано в установлении пределов вредного антропогенного воздействия, превышение которых должно пресекаться средствами закона. В связи с этим вводится понятие нормального экологического риска, которому соответствует пять правил: 1) неизбежность потерь в природной среде; 2) минимизация этих потерь; 3) изыскание возможности восстановления потерь; 4) предотвращение необратимых

изменений в природной среде и вреда здоровью человека; 5) соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Превышение нормального экологического риска заключается в превышении хотя бы одного из этих условий. Обеспечение нормального экологического риска проверяется государственной экологической экспертизой в процессе утверждения технико-экономического обоснования объекта, ввода его в эксплуатацию и вывода из эксплуатации.

### **3.3. Стандарты в области защиты окружающей среды**

Экологические требования и нормы содержатся в многочисленных технических, технико-экономических и других нормах и правилах. Основополагающие экологические требования, служащие основой для разработки нормативов и правил, содержатся в ст. 40-45, 54 закона РФ «Об охране окружающей природной среды». К ним относятся:

- схема размещения производительных сил (ст.40);
- нормативы технико-экономического обоснования создания объекта (ст.41);
- нормативы размещения объекта (ст.42);
- нормы проектирования и строительства, реконструкции объекта (ст.43);
- правила ввода объекта в эксплуатацию (ст.44);
- правила эксплуатации объекта (ст.45);
- нормативы размещения отходов (ст.54).

Нормативно-правовые акты по охране окружающей среды включают в себя санитарные правила и нормы Минздрава России (СанПиН), выполнение которых обеспечивает необходимое качество природных компонентов (воздуха, воды, почв); строительные нормы и правила Госстроя России (СНиП), устанавливающие порядок учета экологических требований при проектировании, строительстве и приемке в эксплуатацию объектов народного хозяйства, административных и жилых зданий; документы Госгортехнадзора России, определяющие принципы охраны окружающей среды при разработке недр; общефедеральные нормативные документы (ОНД) МПР России, устанавливающие принципы контроля природных сред, расчеты ожидаемых концентраций в них загрязняющих веществ.

Экологизация законодательства особенно важна на стадии становления рыночных отношений, чтобы обезопасить природу от хозяйственного беспредела.

### 3.3.1. Показатели экологических стандартов

В РФ основой стандартизации являются ГОСТы. Наряду с ними существуют ОСТы. Они регулируют как размеры загрязнений и качество природных ресурсов и систем, так и мероприятия по охране и контролю, а также терминологию.

Разновидностью правовых норм в области охраны окружающей среды является система стандартов «Охрана природы» - составная часть государственной системы стандартизации, её 17-я система. Она представляет собой совокупность взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов. Они имеют силу законов и являются научной основой для установления состава нарушений.

Первоначально система стандартов в области охраны природы состоит из 10 комплексов стандартов. Кодовое название комплекса: 0 – организационно-методические стандарты; 1 – гидросфера; 2 – атмосфера; 3 – биологические ресурсы; 4 – почвы; 5 – земли; 6 – флора; 7 – фауна; 8 – ландшафты; 9 – недра. В 1994 г. из системы были исключены комплексы 3 и 8. Каждый комплекс стандартов включает в себя семь групп стандартов (таблица 3.1).

Обозначение стандартов в области охраны природы состоит из номера системы по классификатору, шифра комплекса, шифра группы, порядкового номера стандарта и года регистрации стандарта. Так, стандарт на предельно допустимый выброс СО бензиновых двигателей автомобилей стоит в комплексе 2 группа 2, обозначение его ГОСТ 17.2.2.03-87.

Таблица 3.1

*Классификация системы стандартов в области охраны природы*

Шифр группы	Наименование группы стандартов
0.	Основные положения
1.	Термины, определения, классификация
2.	Нормативы воздействия
3.	Правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов
4.	Методика измерений
5.	Специальные требования к средствам охраны природы
6.	Требования к метрологическому обеспечению

В перечень законодательных документов по охране природной среды входит система кадастров. Кадастр – перечень всех объектов того или иного вида ресурсов (водных, лесных, земельных). Так, например,

Государственный земельный кадастр представляет собой перечень всех земельных угодий с полной характеристикой производительности, состояния, текущего использования. На основе кадастров строят перспективные планы развития конкретных отраслей.

Развитие общества создаёт новые экологические проблемы, поэтому развитие эколого-правовых норм является непрерывным процессом.

Наибольший интерес представляют нормативы, регулирующие допустимый уровень загрязнения окружающей среды. Основой для формирования нормативов во многом являются критерии охраны здоровья человека. Лишь для специальных природоохранных зон (заповедники, заказники, курортные зоны, национальные парки) устанавливаются нормативы достаточно жесткие, учитывающие различные популяции.

Нормативы, применяемые в РФ, предусматривают регламентацию двух показателей – ПДК и ПДВ.

Основным из них является ПДК – предельно допустимые концентрации загрязнителей в окружающей среде. ПДК дифференцируются по типам загрязнителей, по сферам их нахождения, в том числе по типам территорий и объектов. Кроме того, они дифференцируются по группам населения (работники предприятий с вредными условиями труда; население, проживающее вблизи таких предприятий: остальное население; зоны расположения детских учреждений и т.д.). Также ПДК дифференцируются по времени воздействия (длительности одного воздействия и частоте воздействий).

ПДК в воздухе рабочей зоны используются в виде максимально разовых и среднесменных нормативов. Максимально разовая ПДК в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>м.р.</sub>) – концентрация вредного вещества в зоне дыхания работающих, усредненная периодом кратковременного отбора проб воздуха (15 мин); устанавливается для веществ с остронаправленным токсическим эффектом (раздражающие яды и др.). Среднесменная ПДК в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>с.с.</sub>) – средняя концентрация, полученная при непрерывном или прерывистом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания – устанавливается для веществ, способных вызывать преимущественно хронические интоксикации (фиброгенные пыли, аэрозоли дезинтеграции металлов и др.). Для веществ, при воздействии которых возможно развитие как хронических, так и острых интоксикаций, устанавливаются, наряду с максимально разовыми, и среднесменные ПДК. В течение смены продолжительность действия на работающего концентрацией, равной максимально разовой ПДК, не должна превы-

шать 15 мин и 30 мин – для аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия, и она может повторяться не чаще 4 раз за смену.

Для атмосферного воздуха населенных мест разрабатываются нормативы для двух периодов усреднения концентраций: максимально разовая и среднесуточная ПДК (ПДКм.р. и ПДКс.с.) и лимитирующий (определяющий) показатель вредности.

Нормирование двух концентраций связано с тем, что вследствие значительной вариабельности содержания веществ в атмосфере ПДКс.с. не может гарантировать, что появляющиеся в определенные отрезки времени пиковые концентрации некоторых химических веществ не будут вызывать ощущения запаха и раздражающего действия на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Поэтому с целью предупреждения рефлекторных реакций, связанных с пиковыми, хотя и кратковременными, подъемами концентраций отдельных веществ, устанавливается максимально разовая ПДК (20–30-минутная), в то время как назначение среднесуточной ПДК состоит в предотвращении хронического неблагоприятного действия атмосферных загрязнений. ПДК в атмосферном воздухе населенных мест – максимальная концентрация, не оказывающая в течение всей жизни человека прямого или косвенного неблагоприятного воздействия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособности человека и не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни.

ПДВ – предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ. Эти нормативы устанавливаются для источников загрязнений. Их величина регламентируется таким образом, чтобы не нарушались нормативы ПДК. ПДВ рассчитываются (обосновываются) по специальным методикам и дифференцируются подобно ПДК.

Предельно допустимые выбросы вредных веществ в водную среду носят наименование предельно допустимые сбросы (ПДС), также соответствующие установленным ПДК вредных веществ в установленных пунктах контроля.

Кроме того, могут применяться временно установленные (ВДК, ВДВ) нормативы ПДК и ПДВ (например, при невозможности в короткий срок обеспечить выполнение норматива).

Аналогично, за некоторыми исключениями, формируются нормативы и в других странах. Например, в США также нормируются значения ПДВ и ПДК. Стандарты ПДК в США подразделяются на первичные и вторичные. Первичные стандарты основываются на критериях здоровья населения, а вторичные – на критериях охраны других объектов (флоры, фауны, архитектурных сооружений и т.д.). За исключением ок-

сидов серы и аэрозолей (пыли) вторичные стандарты совпадают с первичными.

Также в США устанавливаются специальные стандарты для сооружаемых и вводимых новых источников загрязнения, так называемые стандарты функционирования новых источников (СФНИ). Они являются более жесткими. Для особо опасных загрязнителей США имеют Национальный стандарт по выбросам особо опасных веществ (НСОЗ).

### 3.3.2. ПДК загрязняющих веществ в атмосфере

ПДК различаются для атмосферного воздуха и для уходящих газов. В РФ ПДК в рабочей зоне (р.з.) регламентированы ГОСТ 12.1.005-88, введен с 01.01.1989 г. (взамен ГОСТ 12.1.005-76), а в воздухе населенных мест – СанПиН 2.1.6.575-96 (взамен СН 245-71); ПДК вредных веществ в воздухе жилой застройки (ПДК<sub>р.з.</sub>) установлены для более чем 200 веществ, а ПДК рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>) – более чем для 700 веществ.

Вредные вещества распределяются по классу опасности – по ПДК<sub>р.з.</sub> (мкг/м<sup>3</sup>) следующим образом: I класс – менее 100; II класс – 100-1000; III класс – 1100-10000; IV класс – более 10000 мкг/м<sup>3</sup>.

В табл. 3.2. приведены ПДК для основных загрязняющих веществ (первые семь номеров) и некоторых из дополнительных (выбраны некоторые наиболее распространенные и наиболее опасные вещества).

Таблица 3.2

*Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе*

Загрязняющее вещество	Обозначение	Нормативы России, мкг/м <sup>3</sup>			Нормативы США			Примечание
		в рабочей зоне	в воздухе населенных мест		период усреднения или максимум за	мкг/м <sup>3</sup>	Млн <sup>-1</sup>	
			максим, разовая	среднесуточная				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Оксиды серы	SO <sub>x</sub>	20000	200	50	Год 24ч 3ч	80 365 1300*	0,03 0,14 0,5*	По др. данным 0,02 млн. <sup>-1</sup> По др. данным 0,01 млн. <sup>-1</sup> * - Вторичный стандарт

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Диоксид азота	NO <sub>2</sub>	500	85	40	год	100	0,05	
3. Оксид углерода	CO	20000	3000	3000	8 ч 1 ч	10000 40000	9 35	
4. Аэрозоли	-	-	500	50	год 24 ч	75/60* 260/150	-	Кроме особо опасных * - Вторичный стандарт
5. Зола, пыль	-	-	500	150	год 24 ч	75/60* 260/150*	-	* - Вторичный стандарт
6. Озон		30000*	160*	30*	1 ч	235	0,12	* - Вероятность появления 0,01
7. Свинец и его соединения	Pb	10*	-	0,3*	3 месяца	1,5	-	* - Кроме тетраэтилсвинца
8. Углеводороды*	{CH}		-	-	за 3 ч	160	0,24	*-В РФ дифференцируются по видам. В США относится к неметановому ряду и используется для контроля за содержанием озона в атмосфере
9. Бенз(а)пирен	-	0,15	-	1·10 <sup>-3</sup>	-	-	-	
10. Метилмеркаптан	-	800	9·10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	
11. Ртуть	Hg	5	-	0,3	-	-	-	
12. Нафталин	-	2000 0	3	3	-	-	-	
13. Фтористые соединения	HF, SiF <sub>4</sub>	500	20	5	-	-	-	
14. Сероводород	H <sub>2</sub> S	1000 0	8	8	-	-	-	

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15. Фенол	-	300	10	3	-	-	-	
16. Хлорофос	-	500	40	20	-	-	-	
17. Гексахлоран	-	100	30	50	-	-	-	
18. Фреоны 12,21,22	-	-	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^4$	-	-	-	
19. Хлор	Cl <sub>2</sub>	-	-	30	-	-	-	

Для сравнения приведены нормативы США. По нормативам США национальному контролю подлежат девять основных загрязнителей (восемь первых, показанных в табл. 3.2., а также оксиданты). Нормативы допускаются превышать не чаще, чем один раз в год. На основные загрязнители установлен первичный стандарт, а на некоторые из них - также вторичный. Вторичный, более жесткий, стандарт должен со временем заменить первичный. Сравнение стандартов России и США показывает их близость, за исключением ПДК диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и свинца (Pb), для которых нормативы США заметно жестче.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) опубликовала сводку допустимых уровней загрязнения (ДУЗ) как среднегодовых, среднесуточных и среднепериодических.

По этим данным среднегодовой ДУЗ диоксида серы равен 60 мкг/м<sup>3</sup>, для монооксида углерода средний за 8 часов равен 10 мкг/м<sup>3</sup>, что заметно жестче, чем по национальным нормативам.

ПДК рабочей зоны – это концентрация, которая при работе не более 40 часа в неделю в течение всего рабочего стажа не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений при выполнении работающим правил техники безопасности. Нормативы РФ требуют учета эффекта суммации тех веществ, для которых он имеет место. В случае присутствия в воздухе нескольких таких ингредиентов сумма отношений фактической их концентрации к ПДК не должна превышать единицы:

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1$$

Типичные сочетания некоторых загрязняющих веществ, для которых необходим учет эффекта суммации в атмосферном воздухе: оксиды серы – оксиды азота – аэрозоли; аэрозоли – летучая зола (пыль); озон – оксиды азота.

ПДК рабочей зоны устанавливается непосредственно для рабочего места. На территории предприятия концентрация не должна превышать 30% ПДК<sub>р.з.</sub> (чтобы приточный воздух вентиляции мог обеспечить норматив на рабочем месте).

В воздухе населенных пунктов максимальная разовая концентрация ограничивается величиной ПДК<sub>м.р.</sub>, а для пунктов с населением более 200 тыс. человек и в курортных зонах – 80% ПДК<sub>м.р.</sub>.

При проектировании предприятий в районах, где атмосферный воздух уже загрязнен выбросами от других имеющихся предприятий, нормирование выбросов строящегося объекта ограничивают с учетом присутствующих в воздухе примесей. Содержание этих примесей рассматривают в качестве фоновой концентрации ( $C_{\phi}$ ).

Если имеются  $n$  источников выбросов, то требования к расчету концентрации данного загрязняющего вещества на территории предприятия определяются неравенством

$$\sum C_i \leq 0.3 \text{ ПДК}_{\text{р.з.}} - C_{\phi},$$

а для территории населенного пункта – неравенством

$$\sum C_{\text{max } i} \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}} - C_{\phi}$$

Здесь  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества от  $i$  – го источника,  $C_{\text{max } i}$  – максимальная концентрация того же загрязняющего вещества в воздухе населенного пункта от  $i$  – го источника.

Эффект суммации при наличии фоновых  $C_{\phi k}$  концентраций  $m$  загрязняющих веществ однонаправленного действия (в рабочей зоне или в населенной местности) может быть учтен неравенством

$$\sum C_k / (\text{ПДК}_k - C_{\phi k}) \leq 1$$

Здесь  $C_k$  – концентрация  $k$  – го загрязняющего вещества из  $m$  веществ однонаправленного действия,  $\text{ПДК}_k$  – предельно допустимая концентрация  $k$  – го загрязняющего вещества.

### 3.3.3. ПДК загрязняющих веществ в водной среде и в почве

ПДК вредных веществ в водных объектах нормируются для более чем 640 ингредиентов для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и для более чем 150 ингредиентов для объектов рыбохозяйственного назначения.

Свойства водных объектов должны соответствовать нормативам для водотоков на расстоянии не менее одного километра выше ближайшего по течению пункта водопользования (хозяйственно-питьевое водоснабжение, место купания, территория населенного пункта и т.п.), а на непроточных водоемах – по одному километру в обе стороны. Если сточные воды сбрасываются в самом населенном пункте, то нормативам должны соответствовать сами сточные воды.

Наряду с нормативами концентрации вредных веществ нормируется ряд других показателей качества воды, а именно: запах, привкус, окраска, температура, водородный показатель рН, биохимическое потребление кислорода (БПК), растворенный кислород, взвешенные вещества в толще воды, плавающие примеси, возбудители заболеваний. Нормативы качества воды в водных объектах гидросферы содержатся в «Санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнений» (СанПиН от 04.07.88 г. № 4630 – 88, с последующими дополнениями).

Нормативы содержания химических веществ в почвах представлены в гигиенических нормативах Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора «ГН.2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», утвержденных Главным государственным врачом РФ 19.01.2006 г., начало действия с 01.04.2006 г.

Для более чем 30 пестицидов, широко используемых в сельском хозяйстве, также установлены ПДК. Например, для изомеров гексохлорциклогексана, галоидоорганических пестицидов (ДДТ)-2,4, метафоса, ПДК составляют  $0,1 \text{ млн}^{-1}$ , для гексахлорбензола –  $0,03 \text{ млн}^{-1}$ , дилора и фозанола –  $0,5 \text{ млн}^{-1}$ , ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) пестицидов в почве: трефлана –  $0,1 \text{ млн}^{-1}$ , пирамина –  $0,7 \text{ млн}^{-1}$ .

## **Глава 4. Основные направления защиты атмосферного воздуха от антропогенных выбросов загрязняющих веществ**

### **4.1. Уменьшение загрязнения воздушной среды от промышленных предприятий**

Существует ряд мероприятий, направленных одновременно на уменьшение загрязнения внутренней и наружной среды. Рассмотрим некоторые из них.

Уменьшение загрязнения внутренней производственной среды мо-

жет быть достигнуто:

1) заменой токсичных веществ, обращающихся в технологическом процессе, нетоксичными или малотоксичными, т.е. совершенствованием технологического процесса;

2) использованием выбросов для других процессов и производств, т.е. созданием малоотходных технологий;

3) герметизацией аппаратуры и коммуникаций, проведением технологических процессов в вакууме. При невозможности герметизации в местах выделения вредных веществ устраивают вентиляционные укрытия и отсосы;

4) гидроподавлением – разбрызгиванием воды на источник пыли ;

5) проведением технологических процессов с выделением особо токсичных веществ в изолированных помещениях с применением роботов и манипуляторов.

Уменьшение загрязнения внешней среды (атмосферного воздуха) может быть произведено очисткой технологических и вентиляционных выбросов, т.е. улавливанием взвешенных частиц и парогазовых примесей.

Для улавливания взвешенных частиц применяются аппараты сухой и мокрой очистки.

Работа сухих аппаратов основана на использовании гравитационных, инерционных, центробежных или фильтрационных механизмов осаждения.

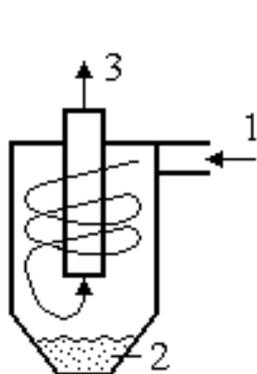
В электрофильтрах взвешенные частицы получают отрицательный электрический заряд и осаждаются на положительном электроде.

В мокрых пылеуловителях используется контакт запылённых газов с жидкостью.

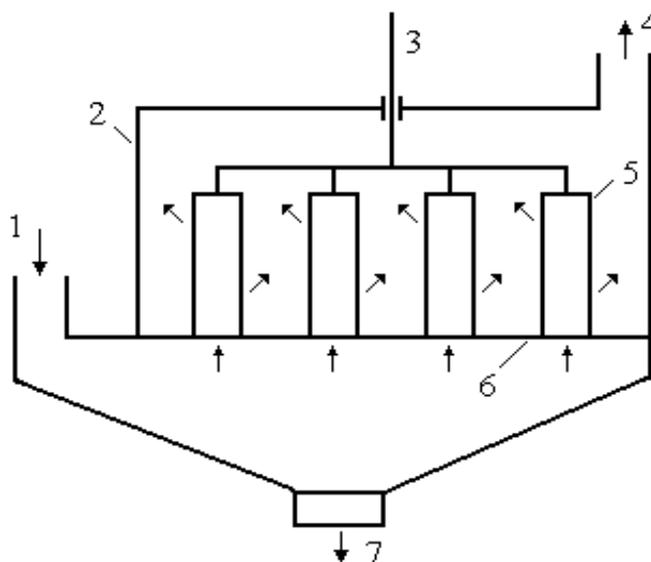
На рис. 4.1 представлена схема циклона. Газопылевая смесь подводится к корпусу циклона тангенциально, поэтому частички пыли, вращаясь около внутренней поверхности корпуса, осаждаются на нее под действием центробежных сил, под действием сил тяжести осаждаются в нижней части циклона и отсюда удаляются, а очищенный газ через расположенную в центре трубу уходит в атмосферу. Для повышения эффективности пылеулавливания применяют гидроциклоны. В них входящий в циклон пылегазовый поток орошается водой, распыляемой форсунками. При этом и внутренняя поверхность корпуса гидроциклона смачивается водой.

Распространёнными пылеуловителями являются матерчатые рукавные фильтры, где пыль задерживается на ворсистом материале (рис. 4.2). Корпус фильтра представляет собой металлический шкаф, разделённый вертикальными перегородками на секции, в каждой из которых

размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме, соединённой со встряхивающим механизмом, внизу имеется бункер для пыли.



1 – загрязненный поток;  
2 – уловленная взвесь;  
3 – очищенный воздух  
Рис. 4.1. Схема циклона

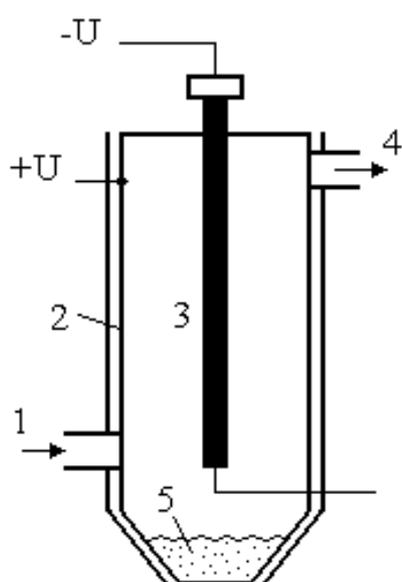


1 – загрязненный газ; 2 – корпус;  
3 – встряхивающее устройство;  
4 – очищенный газ; 5 – рукава;  
6 – распределительная решетка; 7 – пыль  
Рис. 4.2. Рукавный фильтр

Более эффективными аппаратами для улавливания пыли являются электрофильтры, устанавливаемые, например, в котельных теплоэлектростанций для улавливания сажи и золы. Схема простейшего электрофильтра, иллюстрирующая принцип его действия, представлена на рис. 4.3. Под действием соответствующей разности потенциалов между электродами 2 и 3 создаётся коронный разряд, поставляющий в междуэлектродное пространство электроны. Очищаемый поток газов проходит через пространство между электродами, где частицы пыли заряжаются (посредством "прилипания" к ним электронов), и основная их масса оседает на осадительном электроде.

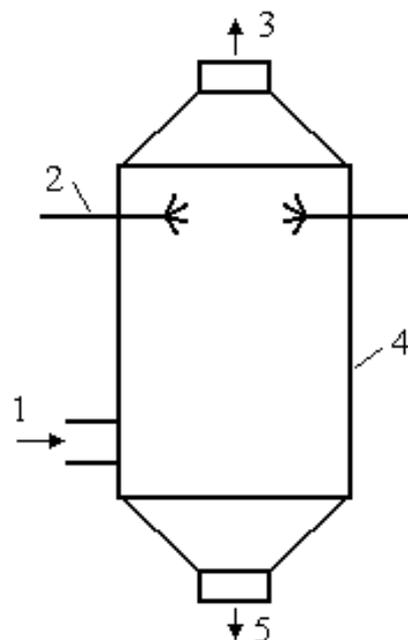
Большое распространение для очистки воздуха от взвешенных частиц получили аппараты мокрой очистки: ротоклоны, барботеры, скрубберы. На рис. 4.4 представлена схема полого форсуночного скруббера. Он представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между газом и каплями жидкости.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газообразных примесей применяются адсорберы и абсорберы.



1 – загрязненный поток; 2 – осадительный электрод; 3 – коронирующий электрод; 4 – очищенный поток; 5 – взвесь

Рис. 4.3. Схема электрофильтра



1 – запыленный газ; 2 – форсунки; 3 – очищенный газ; 4 – корпус; 5 – шлам

Рис. 4.4. Схема скруббера

В адсорберах (рис. 4.5) очищаемый поток пронизывает слой адсорбента, который связывает вредные газы и пары. Существуют адсорберы с неподвижным слоем адсорбента и с так называемым «кипящим» слоем, где адсорбент поддерживается во взвешенном состоянии.

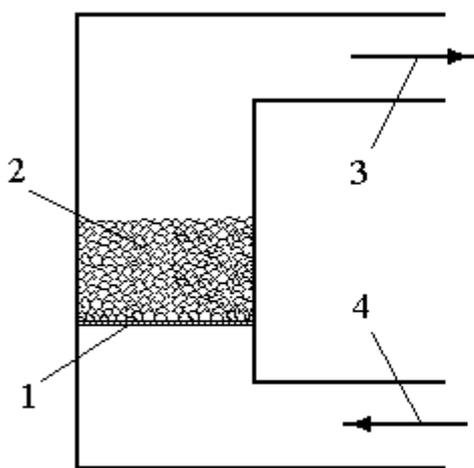
В абсорберах (рис. 4.6) для очистки применяют жидкие вещества: воду или растворы солей, поглощающие газообразные примеси.

Термическая нейтрализация основана на способности горючих газов и паров, входящих в состав технологических или вентиляционных выбросов, сгорать с образованием менее токсичных веществ. Для этого используют нейтрализаторы [8, 11]. Различают три схемы термической нейтрализации: прямое сжигание; термическое окисление; каталитическое дожигание.

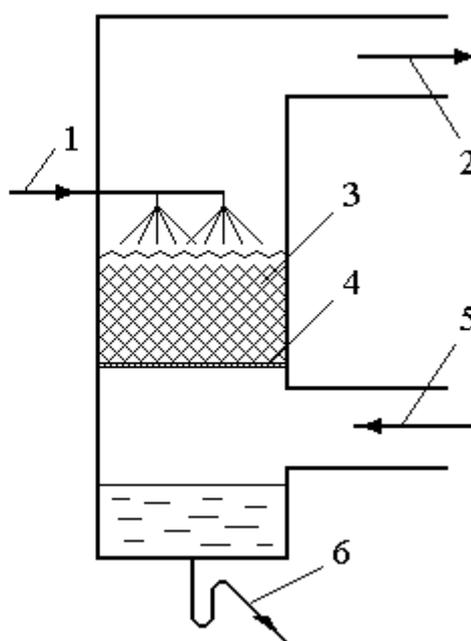
Прямое сжигание используют в тех случаях, когда очищаемые газы обладают значительной энергией, достаточной для поддержания горения. Примером такого процесса является факельное сжигание горючих отходов. Так нейтрализуют циановодород в вертикально направленных факелах на нефтехимических заводах. Существуют схемы камерного сжигания отходов, которые можно использовать для нейтрализации паров токсичных горючих или окислителей при их сдувах из емкостей.

Термическое окисление применяется в тех случаях, когда очищае-

мые газы имеют высокую температуру, но не содержат достаточно кислорода или когда концентрация горючих веществ незначительна и недостаточна для поддержания горения. В первом случае процесс термического окисления проводят в камере с подачей свежего воздуха (дожигание оксида углерода и углеводородов), а во втором – при подаче дополнительно природного газа.



1 – сетка; 2 – адсорбент; 3 – очищенный поток; 4 – загрязненный поток  
Рис. 4.5. Схема адсорбера



1 – абсорбент; 2 – очищенный поток; 3 – насадка; 4 – сетка; 5 – загрязненный поток; 6 – сброс в канализацию  
Рис. 4.6. Схема абсорбера

Каталитическое дожигание используют для превращения токсичных компонентов, содержащихся в отходящих газах, в нетоксичные или менее токсичные путем их контакта с катализаторами. Для реализации процесса необходимо, кроме катализаторов, поддержание таких параметров газового потока, как температура и скорость газов. В качестве катализаторов используют платину, палладий, медь и др. Температуры начала каталитических реакций газов и паров изменяются в пределах 200...400°C. Объемные скорости процесса каталитического дожигания обычно устанавливают в пределах 2000...6000 ч<sup>-1</sup> (объемная скорость – отношение скорости движения газов к объему катализаторной массы). Каталитические нейтрализаторы применяют для обезвреживания оксида углерода, летучих углеводородов, растворителей и т.п.

Уменьшение загрязнения воздушной среды может быть достигнуто

и при строительстве промышленных предприятий в районах с отсутствием температурных инверсий.

## **4.2. Уменьшение загрязнения воздушной среды от энергетических установок и автотранспорта, рассеивание выбросов в атмосфере, использование зеленых насаждений**

Перечислим некоторые мероприятия по уменьшению загрязнения атмосферы от теплогенерирующих установок:

1. сжигание угля с известняком  $-\text{SO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$  ;
2. барботирование через известковое молочко (гашёную известь)  $-\text{SO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;
3. облагораживание топлива: обогащение угля, обработка нефти методом каталитической гидрогенизации с целью извлечения серы;
4. применение мазута с малым содержанием серы или газа;
5. использование вторичных энергетических ресурсов: выбросного пара, горячих газов от котлов, печей, вентиляционных выбросов;
6. ликвидация малых отопительных установок благодаря развитию централизованного теплоснабжения, что упрощает очистку дымовых газов;
7. применение инженерных коммуникаций глубокого заложения;
8. транспортировка углей в затаренном виде, с противопылевой обработкой поверхности.

Увеличение численности автомобильного транспорта ухудшает состояние воздушной среды в населённых пунктах, поэтому возникла необходимость разработки ряда мероприятий, уменьшающих загрязнение атмосферы выбросами автотранспорта:

- 1) применение электромобилей, работающих от батарей-аккумуляторов, подзаряжаемых на специальных станциях зарядки.
- 2) применение электромобилей гибридного типа с топливным и электроаккумуляторным двигателями: на топливном двигателе машины эксплуатируются за городом, при этом подзаряжается батарея-аккумулятор, на которой машина работает в городе;
- 3) улавливание из выхлопных газов дизельных автомобилей сажи с помощью механических и электрических сажеуловителей;
- 4) использование неэтилированного бензина;
- 5) использование автотранспорта на сжиженном (баллонном) газе;

- б) введение ограничений на движение индивидуального транспорта и использование электротранспорта (троллейбусов);
- 7) улучшение состояния городских дорог и устройство транспортных развязок, так как остановки, торможения, изменение скорости, дополнительное маневрирование увеличивают выделение в воздух вредных веществ.

Рассеивание загрязнений достигается:

- 1) устройством высоких труб – при выбросе на большую высоту вредные вещества, достигая приземного пространства, рассеиваются, их концентрации снижаются до предельно допустимых;
- 2) использование факельных выбросов: через конические насадки на выхлопном отверстии загрязнённые газы выбрасываются вентилятором со скоростью 20...30 м/с;
- 3) устройство санитарно-защитных зон – территорий определённой протяжённости и ширины, располагающихся между предприятиями или источниками загрязнения и границами зон жилой застройки;
- 4) расположение предприятий с подветренной стороны по отношению к жилым массивам с учётом местной розы ветров.

Зелёные насаждения обогащают воздух кислородом, способствуют рассеиванию вредных веществ и поглощают их.

По характеру защитного действия посадки разделяют на изолирующие и фильтрующие. Изолирующими называют посадки плотной структуры, которые создают на пути загрязнённого воздушного потока механическую преграду. При нормальных метеоусловиях они снижают газо- и парообразные примеси (сернистый ангидрид, окись углерода, фенол) на 25...35 % вследствие рассеивания и отклонения загрязнённого воздушного потока, а также поглощающего действия зелёных насаждений.

Фильтрующими называют посадки, продуваемые и ажурные по структуре, выполняющие роль механического и биологического фильтра при прохождении загрязнённого воздуха сквозь зелёный массив. Эти посадки являются основными для санитарно-защитных зон, они занимают около 90 % всей озеленённой площади, под которую рекомендуется отводить 60...75 % общей площади санитарно-защитной зоны.

Ассортимент растений рекомендуется выбирать дифференцированно, для каждой зоны территории в зависимости от степени загрязнения воздуха. При этом следует отказаться от ошибочной тенденции использования (при озеленении территорий жилой застройки, предприятий, санитарно-защитных зон) таких растений, которые наиболее устойчивы к загрязняющим веществам: устойчивость растений может создать иллюзию относительной чистоты воздуха, в то время как фактически он

будет загрязнён. Наименее устойчивые древесно-кустарниковые породы могут служить индикаторами опасных уровней загрязнения атмосферы.

### 4.3. Методы и средства контроля воздушной среды

Гравитационный метод. Гравитационный (весовой) метод заключается в выделении частиц пыли из пылегазового потока и определении их массы. Отбор проб воздуха, содержащего частицы пыли, проводят, например, методом фильтрации. В качестве фильтрующих материалов в отечественных пылемерах используются аналитические аэрозольные фильтры (АФА). Концентрацию пыли рассчитывают по формуле:

$$C = m / Q \cdot \tau,$$

где  $m$  – масса пробы пыли, мг;  $Q$  – объёмный расход воздуха через пробоотборник, м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  – время отбора пробы, с.

Достоинства метода – определение массовой концентрации, отсутствие влияния химического и дисперсного состава. Недостаток – большая трудоёмкость.

Радиоизотопный метод. Метод основан на свойстве ионизирующего излучения ( $\beta$  - излучения) поглощаться частицами пыли. Массу уловленной пыли определяют по степени ослабления ионизирующего излучения при прохождении его через слой пыли. Результаты измерения зависят от химического и дисперсного состава.

Оптические методы. Различают следующие оптические методы:

а) фотометрический метод основан на измерении оптической плотности запылённого потока по степени рассеивания света;

б) абсорбционный метод основан на явлении поглощения света при прохождении его через пылегазовую среду.

Пьезоэлектрический метод. Существует в двух вариантах:

а) изменение частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности пыли (определяется массовая концентрация пыли);

б) счёт электрических импульсов при соударении частиц пыли с пьезокристаллом (счётная концентрация).

Контроль концентраций газо – и парообразных примесей производится с помощью газоанализаторов, позволяющих осуществлять мгновенный и непрерывный контроль.

Для экспрессного определения токсичных веществ используются универсальные газоанализаторы (УГ-2, ГХ-2 и др.), работа которых основана на линейно-колористическом методе анализа. При просасывании воздуха через индикаторные трубки, заполненные поглотителем, происходит изменение окраски порошка. Длина окрашенного слоя пропор-

циональна концентрации исследуемого вещества (мг/л). Отечественный газоанализатор позволяет определить концентрацию 16 различных газов и паров: окиси углерода, сернистого ангидрида, сероводорода, толуола, метилового спирта и др.

Контроль газовых примесей осуществляется с помощью оптических, электрохимических, термохимических и др. методов.

Оптические методы наиболее распространены.

Принцип действия оптических газоанализаторов основан на избирательном поглощении газами лучистой энергии в инфракрасной, ультрафиолетовой или видимой областях спектра.

Приборы, работающие в инфракрасной области, применяются для определения окиси и двуокиси углерода и метана.

Приборы, в которых лучистая энергия поглощается газами в ультрафиолетовой области спектра, применяют для обнаружения паров ртути, никеля, озона.

Действие фотоколориметрических газоанализаторов основано на поглощении лучистой энергии в видимой области спектра растворами или индикаторными лентами, изменяющими свою окраску при взаимодействии с определённым газовым компонентом. Различают жидкостные и ленточные фотоколориметры. В жидкостных фотоколориметрах концентрация анализируемого компонента воздуха определяется по изменению светопоглощения раствора. Принцип действия ленточных фотоколориметров основан на фотометрировании индикаторной ленты, предварительно обработанной раствором, вступающим в химическую реакцию с определённым компонентом.

Получили распространение газоанализаторы, использующие эмиссию излучения анализируемой газовой примеси. Сущность метода состоит в том, что молекулы оксидов азота, соединений серы приводят в состояние оптического возбуждения и регистрируют интенсивность люминесценции, возникающей при возвращении их в равновесное состояние.

К электрическим методам относятся:

– кондуктометрические – анализируемый компонент газовой смеси поглощается соответствующим раствором, электропроводность которого измеряется. Применяется для определения концентрации сероводорода, сернистого ангидрида, аммиака, оксида и диоксида углерода;

– кулонометрические – между анализируемым газом и электролитом в ячейке протекает электрохимическая реакция, во внешней цепи появляется эдс, пропорциональная концентрации определяемого компонента. Применяется для определения концентрации диоксида азота, озона, фтористого и хлористого водорода.

Хроматографические методы основаны на разделении газовой смеси сорбционными методами в результате поглощения газовых компонентов на активных центрах адсорбции. Так как физические свойства отдельных составляющих газовой смеси различны, они продвигаются по хроматографической колонке с разной скоростью, что позволяет разделять их на выходе. Применяются для определения концентрации двуокиси углерода, сероводорода, ртути, мышьяка и др.

Лазерными методами регистрируется рассеивание излучения лазера частицами аэрозолей и молекулами газов. Рассеянная энергия принимается антенной локатора. Регистрируя и расшифровывая следы взаимодействия лазерных импульсов с атмосферными слоями, можно извлечь информацию о давлении, плотности, температуре, концентрации различных газовых составляющих атмосферы.

## **Глава 5. Основные направления защиты гидросферы от антропогенных загрязнений**

### **5.1. Ресурсы и потребители пресной воды, ее потери и загрязнение, экологические последствия**

#### **5.1.1. Характеристика водных ресурсов Земли**

В гидросфере Земли происходит круговорот воды. Перемещение воды происходит во всех направлениях. Распределение воды в гидросфере, в том числе в разных агрегатных состояниях представлено в таблице 5.1.

Площадь водной поверхности  $360,8 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>, средняя глубина мирового океана 3,8 км.

Химический состав вод разнообразен. Растворённые вещества определяют солёность – массу растворённого вещества, в граммах, в 1000 г морской воды. Так, например, определяется хлорность морской воды. Согласно формуле Кнудсена,

$$S = 0,03 + 1,805C,$$

где  $S$  – солёность воды;  $C$  – хлорность воды.

Солёность вод океана определяется несколькими химическими элементами – ионами. Это катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . На остальные элементы приходится 4,2 %. Солёность  $S$  воды в океане изменяется в пределах 34...36 ‰. Важное звено в кру-

говороте воды – ледники. Они формируются в полярных и высокогорных районах и характеризуются малой минерализацией. Континентальные воды – реки, озёра, болота – образуются в соответствии с климатом данной местности и по составу растворённых солей также разнообразны. При этом соотношения концентрации ионов достаточно постоянны и обратны морской воде:

- в морской воде:  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ,

- в материковых водах:  $\text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{HCO}_3^-$ .

Таблица 5.1

*Распределение водных масс в гидросфере (по М.И. Львовичу, 1986 г.)*

Форма нахождения	Объём, $10^3 \text{ км}^3$	Процент
Мировой океан	1370000	94,0
Подземные воды,	60000	4,0
в том числе активного водообмена	4000	0,3
Ледники	24000	1,7
Озёра	280	~0,02
Почвенная влага	80	~0,01
Пары атмосферы	14	~0,001
Речные воды	1,2	~0,0001
Всего:	1454000	100,00

Подземные воды различно минерализованы, отличаются отсутствием кислорода. Их верхние слои – грунтовые воды – участвуют в круговороте воды. К подземным водам относятся и термальные воды – гейзеры. Поскольку воды Земли минерализованы и постоянно мигрируют, гидросфера участвует в круговороте веществ (микроэлементов) в биосфере.

Пресные воды составляют 3 % массы всех вод Земли. Реально доступной или пригодной для использования людьми является 0,001 часть пресных вод.

### 5.1.2. Потребители пресной воды

Пресная вода расходуется на удовлетворение хозяйственно-бытовых нужд населения, промышленностью, сельским хозяйством. Различают возвратное потребление – с возвращением забранной воды в источник (коммунальное хозяйство, промышленность, водохранилища) и безвозвратное водопотребление – с расходом её на фильтрацию, испарение и т.п. (в основном, в сельском хозяйстве). Хотя запасы речных вод невелики ( $1200 \text{ км}^3$  или 0,0001 % объёма всей гидросферы), именно

речная вода обеспечивает основной объём потребляемой воды в быту и народном хозяйстве, так как речные воды обладают значительной способностью к возобновлению и самоочищению.

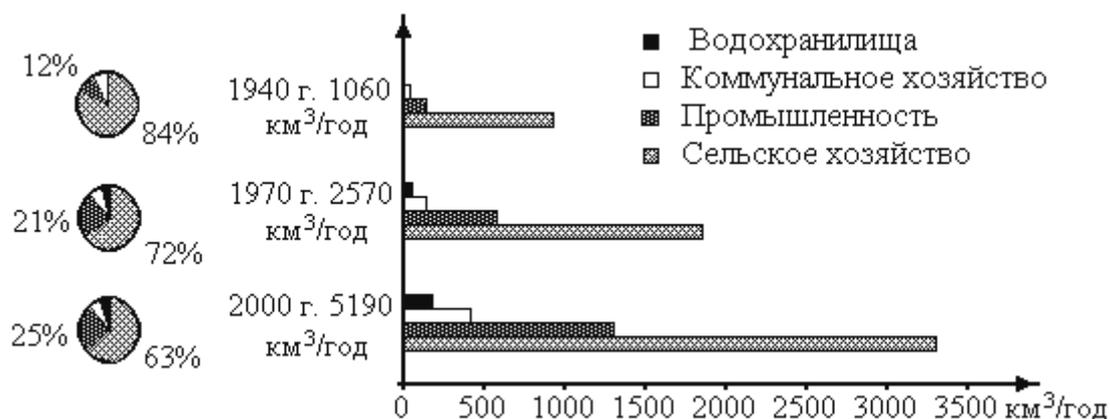


Рис. 5.1. Динамика водопотребления в мире по видам хозяйственной деятельности. Слева – данные о полном водопотреблении и его структуре (%)

Процесс урбанизации, интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства ведут к непрерывному возрастанию водопотребления (в течение 20-го века оно возросло более чем в 7 раз). На рисунке 5.1 показана динамика водопотребления в мире по видам хозяйственной деятельности. На 2000 г 63 % полного водопотребления (или 86 % безвозвратного) в мире приходится на сельское хозяйство. Так, за 20-й век площадь орошаемых земель возросла с 47 млн. га до 347 млн. га. Примерно такая же ситуация к 1991...92 г.г. сложилась в бывшем СССР: потребление воды на промышленные нужды составляло около 30 %, в сельском хозяйстве – 57 %, в коммунальном хозяйстве – 8 %. Существенно иная ситуация в Российской Федерации: в 1991 г. из потреблённых 117 км<sup>3</sup> на нужды промышленности ушло 53%, на сельское хозяйство – более 20 %, на хозяйственно-питьевые нужды – 15 %.

На многих реках России водозабор превысил все допустимые нормы и составляет более 0 % от среднего многолетнего стока (реки Кубань, Урал, Миасс и др.). На реке Дон водозабор составил 64 %. Это говорит о том, что наблюдающаяся деградация водных объектов, особенно в европейской части России, на Урале, в Кузбассе связана с большим забором воды.

### 5.1.3. Потери пресной воды. Экологические последствия

Как отмечено выше, объём речных вод составляет ничтожную часть (0,0001 %) объёма гидросферы. Между тем до настоящего време-

ни потребление человеком пресной воды осуществляется, главным образом, за счёт вод речного стока. Это понятно: речная сеть наиболее доступна для изъятия пресной воды как по распространённости по земной поверхности (по сравнению, например, с озёрами, в которых пресной воды содержится больше на два порядка величины, но распределены озёра крайне неравномерно), так и по энергетическим и другим издержкам на изъятие (по сравнению, например, с забором воды из подземных источников). Кроме того, воды речной сети наиболее динамичны и способны к возобновлению и самоочищению. Годовой сток речной сети в мировой океан составляет, по разным оценкам, в среднем  $(15...16) \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$ . Если отнести прогнозируемое на 2000 г. водопотребление в мире ( $5190 \text{ км}^3/\text{год}$ , рисунок 5.1) к среднему многолетнему стоку мировой речной сети  $(15...16) \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{год}$ , то окажется, что усреднённый общемировой водозабор приближается к 30% от общемирового усреднённого стока речной сети. Конечно, в такой оценке не учтён водозабор из подземных источников, из озёр (этот водозабор учтён в прогнозной величине водопотребления  $5190 \text{ км}^3/\text{год}$ ). Поэтому реальное отношение годового водозабора к годовому стоку будет несколько меньше 30 %, но дело идёт к этому.

В этой ситуации чрезвычайно важно предельно минимизировать безвозвратное водопотребление. То есть такое водопотребление, при котором определённая доля воды, забираемая водопользователем, например, из речной сети, в речную сеть не возвращается. К сожалению, сегодняшние технологии в промышленности, сельском хозяйстве, коммунальном хозяйстве предопределяют значительные потери пресной воды. В таблице 5.2 для указанных видов хозяйственной деятельности приведены данные по полному водопотреблению и безвозвратным потерям (в знаменателе, здесь же – процентное содержание потерь) на территории бывшего СССР в 1900, 1980 и 2000 г.г.

Как следует из таблицы 5.2, в 2000 г. на территории бывшего СССР из  $440 \text{ км}^3$  потреблённых пресных вод  $270 \text{ км}^3$  (или 61,4 %) будет безвозвратно изъято, прежде всего, из речного стока. Если положить, что на территории бывшего СССР, как и в среднем в мире, водозабор составляет ~30 % от стока, то с учётом того, что безвозвратные потери пресных вод в 2000 г. оценены в 61,4 %, получается, что речная сеть данной территории сегодня безвозвратно теряет  $0,614 \cdot 30 \% \approx 18,5 \%$  своего стока. Эту же цифру можно, в первом приближении, отнести и к миру в целом.

Разумеется, данные потери не абсолютно безвозвратны для биосферы. Фактически в процессе водопользования часть воды из речной

сети переводится в атмосферную влагу за счёт испарения (как, например, в устройствах охлаждения нагретых вод ТЭС и АЭС) или в почвенную и атмосферную влагу (как при орошении в сельском хозяйстве) и, таким образом, остаётся в биосфере. Но водоёмам, точнее, биоте водоёмов, прежде всего рек, от этого не легче: уменьшение практически на 20 % массы воды в реках приводит к резкому изменению условий существования всех водных экосистем. Интенсивное одновременное загрязнение речных вод коммунальными, промышленными и сельскохозяйственными стоками ведёт к деградации рек речной системы территории бывшего СССР. Характерные примеры: реки Средней Азии – Амударья и Сырдарья, практически «разобранные» на орошение хлопковых плантаций и другие хозяйственные нужды по пути их следования к Аральскому озеру-море и предопределившие, таким образом, начавшуюся гибель Аральского моря; река Дон, водозабор которой составил 64 %, что соответствует безвозвратным потерям его вод в 40 %, а в июне-августе, на которые приходится более 60 % водозабора, легендарный тихий Дон вообще дышит на ладан.

Таблица 5.2

*Полное водопотребление и безвозвратные потери, в км<sup>3</sup>/год, по видам хозяйственной деятельности на территории бывшего СССР (по И.А. Шикломанову, 1988 г.)*

<b>Водопотребитель</b>	<b>1900г.</b>	<b>1980г.</b>	<b>2000г.</b>
Сельское хозяйство	41,6 26,4(63,5%)	130,5 60,2(46,1%)	250,5 205,2(81,9%)
Промышленность	1 0,1 (10%)	70 5(7.1%)	130 34 (26,15%)
Коммунальное хозяйство	1,6 0,6 (37,5%)	9,7 2 (20,6%)	34 7 (20,5%)
Водохранилища	0 0	14,6 14,6 (100%)	23,4 23,4 (100%)
Общее (округлено)	44 28 (63,6%)	225 107 (47,5%)	440 270 (61,4%)

При безвозвратном отводе воды экологические последствия затрагивают не только собственно реку. Пересыхают или уже пересохли болота вдоль множества рек, так как болота в гораздо меньшей степени подпитываются периодическими паводками. Это приводит к исчезновению большого количества водной дичи и многих видов животных и растений, ранее обитавших в этих местах. Это касается и эстуариев-

заливов, в которых пресная вода, выходящая из устьев рек в мировой океан, постепенно смешивается с морской. Эстуарии – одни из самых продуктивных экосистем в биосфере: прекрасные места размножения многих видов рыб, моллюсков, водяных птиц. При уменьшении речного стока солёность воды в эстуариях возрастает, что резко изменяет экологию данных вод. Так, экологическая обстановка в северной части Калифорнийского залива (Мексика) заметно изменяется в связи со значительным уменьшением притока пресной воды из реки Колорадо: забор воды на орошение и водоснабжение города Лос-Анджелеса стремительно приближается к 100 % её среднегодового стока, и то место, где река впадает в Калифорнийский залив, теперь часто представляет собой её сухое русло.

#### **5.1.4. Источники загрязнения воды, экологические последствия загрязнения природных вод**

Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) вода в водоёме (водотоке) считается загрязнённой, если в результате изменения её состава или состояния вода становится менее пригодной для любых видов водопользования, в то время как в природном состоянии она соответствовала предъявляемым требованиям. Определение касается физических, химических и биологических свойств, а также наличия в воде посторонних жидких, газообразных, твёрдых и растворённых веществ.

В настоящее время все источники загрязнения гидросферы принято делить на четыре большие группы.

1. Атмосферные воды. Во-первых, они приносят в гидросферу массу загрязнителей промышленного происхождения. Так, атмосферные воды вымывают из воздуха оксиды серы и азота, образуя упомянутые выше (разд. 1.2.6.) кислотные дожди. При стекании по склонам атмосферные и талые воды увлекают с собой массы веществ с городских улиц, промышленных предприятий: мусор, нефтепродукты, кислоты, фенолы и др.;

2. Городские сточные воды, включающие преимущественно бытовые стоки, содержащие фекалии, моющие средства (детергенты), микроорганизмы, в том числе патогенные;

3. Промышленные сточные воды, образующиеся в самых разнообразных отраслях промышленности, среди которых наиболее активно потребляют (и загрязняют) воду: чёрная металлургия, химическая, лесохимическая, нефтеперерабатывающая промышленность, энергетика и др.

Внутри предприятий сточные воды, как правило, подразделяются

на сильно загрязнённые стоки, слабо загрязнённые воды, условно чистые воды (охлаждающие воды), специфические чрезвычайно концентрированные стоки (например, кубовые остатки и маточные растворы), бытовые и хозяйственно-фекальные стоки, направляемые на биологическую очистку. Очевидно, что по химическому составу промышленные стоки наиболее разнообразны, поскольку именно здесь производятся или обращаются практически все известные сегодня вещества;

4. Сельскохозяйственные стоки, содержащие смытые в процессе эрозии частицы почвы, биогены, входящие в состав удобрений, пестициды (химические средства для защиты сельскохозяйственных растений и животных соответственно от сорняков, паразитов, насекомых), помёт сельскохозяйственных животных и ассоциированные с ним бактерии и др.

Все эти загрязнения, так или иначе, являются полностью или в основном побочным результатом деятельности человека, всей человеческой популяции. Напомним, что каждый организм, каждая популяция в естественной экосистеме производит отходы, потенциально загрязняющие биосферу. Однако в естественных экосистемах отходы одних организмов становятся пищей или «сырьём» для других и не накапливаются до уровня, вызывающего неблагоприятные изменения в окружающей среде, разлагаются и рециклируются.

На протяжении своей истории человек избавлялся от отходов за счёт таких же природных процессов. Демографический взрыв и возрастающий расход сырья и энергии привели к поступлению в биосферу (в том числе в гидросферу) столь больших количеств отходов, что естественные экосистемы уже не способны ассимилировать и рециклизовать их. Мало того, производится всё больше небiodeградирующих материалов, что усугубляет проблему.

В настоящее время нет единой классификации сточных вод, узаконенной правилами или нормами. Ряд классификаций сточных вод и их примесей приводятся в работах по очистке сточных вод. В качестве критериев используется и характер воздействия примесей на водоёмы. Так, широко распространена классификация сточных вод, в основе которой лежит различие характера примесей с точки зрения их физико-химического состава. Согласно этой классификации примеси в сточных водах делятся на две группы.

Первая представляет собой примеси, образующие с водой стоков гетерогенные системы. Сюда входят, во-первых, нерастворимые в воде примеси с величиной частиц 100 нм и более (грубодисперсные примеси, (ГДП)). Грубодисперсные частицы распределяются в воде механически и практически не способны к диффузии. В зависимости от разницы

плотности вещества частицы и воды  $\Delta\rho$  частицы могут быть тонущими ( $\Delta\rho > 0$ ), взвешенными ( $\Delta\rho = 0$ ), всплывающими ( $\Delta\rho < 0$ ). Такая гетерогенная система образует эмульсию, если грубодисперсная примесь – жидкость, или суспензию, если примесь – твёрдое тело. В области нижней границы дисперсного спектра (ближе к 100 нм) грубодисперсные примеси выделяются из воды с большим трудом и могут пребывать в ней значительное время, вызывая мутность воды. К этим примесям относится широко распространённый термин: взвешенные вещества.

В первую группу входят также коллоидно-дисперсные примеси с величиной коллоидных частиц от 1 до 100 нм. Эти частицы участвуют в броуновском движении (способны к диффузии). Коллоидные примеси обладают большой седиментационной устойчивостью (равномерным распределением по объёму воды), а также агрегативной устойчивостью (неизменностью дисперсного состава в течение длительного времени). Последнему способствует то обстоятельство, что коллоидные частицы имеют одинаковые (отрицательные) электрические заряды, и электрическое поле зарядов частиц затрудняет их коагуляцию (укрупнение) и седиментацию (оседание).

Примеси второй группы относятся к истинно растворённым примесям, представляющим собой отдельные ионы, молекулы или комплексы, состоящие из нескольких молекул. Частицы таких примесей имеют размеры менее 1 нм. Они не имеют поверхности раздела, поэтому вместе с водой они составляют гомогенную систему.

По химическому характеру примеси разделяются на газовые, минеральные и органические.

В таблице 5.3 представлена классификация сточных вод по их действию на водоёмы.

Водоёмы представляют собой сложные экосистемы существования сообщества (биоценоза) живых организмов (гидробионтов): растений, животных, микроорганизмов. Экосистемы формировались в течение длительного времени эволюции. В них постоянно идут процессы поддержания гомеостаза экосистемы, то есть адаптации биоценоза к изменяющимся условиям существования, в том числе и процессы изменения состава примесей, направленные на достижение равновесия в экосистеме.

Состояние равновесия может быть нарушено в результате многих причин, но особенно в результате сброса сточных вод. Отклонение экосистемы от равновесного состояния, вызванное сбросом сточных вод, может привести к отравлению и гибели определённых популяций гидробионтов, что приводит к угнетению всего биоценоза. Отклонение от равновесия интенсифицирует процессы, приводящие водоём в опти-

мальное (равновесное) для него состояние и называемые процессами самоочищения водоёма. Важнейшие из них: осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей; окисление (минерализация) органических примесей; окисление минеральных примесей кислородом; нейтрализация кислот и оснований; гидролиз ионов тяжёлых металлов, приводящий к образованию их малорастворимых гидроксидов и выделению их из воды.

Таблица 5.3

*Классификация сточных вод по их действию на водоёмы*

<b>Группа</b>	<b>Характер примесей</b>	<b>Характер действия примесей на водоёмы и водные организмы</b>	<b>Источник сточных вод</b>
1	Неорганические со специфическими токсическими свойствами	Изменение органолептических и физико-химических свойств воды; отравление водных организмов, жаберные заболевания рыб и т.д.	Производства химической промышленности, электрохимические производства, тепловые электрические станции и др.
2	Неорганические без специфических токсических свойств	Содержат взвешенные вещества	Производство керамической, силикатной промышленности, углеобогачительные фабрики, тепловые электрические станции и др.
3	Органические со специфическими свойствами	Отравляют водные организмы, ухудшают качество воды, создают дефицит кислорода	Химические и нефтехимические производства, тепловые электрические станции и др.
4	Органические без специфических токсических свойств	Создают дефицит кислорода	Пищевая промышленность, тепловые электрические станции и др.

Процессы самоочищения зависят от температуры воды, состава примесей, концентрации кислорода, рН воды, концентрации вредных примесей, препятствующих или затрудняющих протекание процессов самоочищения водоёмов.

Особенно значим в процессах самоочищения кислородный режим водоёмов. Расход кислорода на минерализацию органических веществ определяется через биохимическое потребление кислорода (БПК), которое выражается количеством  $O_2$ , использованного в биохимических

(при помощи бактерий) процессах окисления органических веществ за определённое время инкубации пробы ( $\text{мгO}_2$  /сутки). Пользуются или пятисуточной ( $\text{БПК}_5$ ) или полной ( $\text{БПК}_{\text{полн}}$ ) биохимической потребностью кислорода. При большом сбросе органических веществ наступает дефицит кислорода, дестабилизируется биоценоз, развивается анаэробная (бескислородная) минерализация органических веществ, что вызывает значительное ухудшение качества воды.

Заметим, что, таким образом, нарушение и даже разрушение биоценоза в водоёме возможно при значительном сбросе в него органических веществ, совершенно не относящихся к вредным веществам. Столь же тяжёлые экологические последствия наступают в водоёме при сбросе в него других веществ, не относящихся к вредным или ядовитым – биогенов, то есть веществ, необходимых для существования живых организмов: соединения (соли) фосфора, азота, калия, кальция, серы, магния. Биогены во всё увеличивающихся объёмах поступают в гидросферу из всех вышеназванных источников, особенно – из стоков сельского хозяйства и коммунальных стоков. Попадая в водоёмы и водостоки, которые в естественном состоянии олиготрофны, то есть, бедны биогенами, биогены вызывают бурный рост фитопланктона – множества видов водорослей, представляющих собой отдельные клетки, их скопления или «нити», которые держатся вблизи поверхности (на поверхности) воды, не связаны с дном и получают биогены из воды. Вместе с частицами почвы, выносимыми в водоёмы из-за эрозии почв, фитопланктон препятствует прохождению солнечного света в толщу воды, вследствие чего нарушаются процессы фотосинтеза водных растений, погружённых в воду (бентоса) и укоренённых в дне водоёма, откуда они получают биогены. В результате резко уменьшается поступление кислорода, производимого бентосными растениями при фотосинтезе. Кислород, выделяемый фитопланктоном при фотосинтезе, пересыщает верхний слой воды и улетучивается с её поверхности. У фитопланктона короткий жизненный цикл, он быстро отмирает, что ведёт к накоплению большой массы отмершего фитопланктона – детрита. Питаясь детритом, редуценты, в основном, бактерии, потребляют кислород, уменьшая его содержание в воде. В результате бентосные растения вытесняются фитопланктоном, рыбы, и другие обитатели водоёмов задыхаются и гибнут. Эти процессы, усиливающиеся во всём мире, получили название эвтрофикации. Свою лепту в эвтрофикацию вносят и взвешенные частицы, попадающие в водоём в результате эрозии почв. Вещество этих частиц не отнесено к разряду химически вредных. Но они уменьшают прохождение света в толщу воды, засоряют жабры и пищедобывающие органы, обволакивают икринки рыб и других водных организмов. Эвтрофикация

сопровождается наносами, изменяющими донный ландшафт водоёмов, что ухудшает условия обитания рыб и моллюсков. Водоёмы мелеют, возникает необходимость их постоянной очистки и проблема размещения извлечённого со дна материала. Ущерб от наносов обходится, например, для США в 6...7 млрд. долларов. Какие из перечисленных источников загрязнения гидросферы наиболее важны в этом отношении, очевидно, определяется соотношением населённых пунктов и сельскохозяйственных предприятий (ферм). Так, для водосборного бассейна Чесапикского залива (восточное побережье США) рассчитано, что с ферм, с городских территорий и из водоочистных сооружений в гидросферу поступает приблизительно равное число биогенов (системы водоочистки, существующие в большинстве городов мира, не предусматривают устранения биогенов).

Бытовые и сельскохозяйственные стоки вызывают не только эвтрофикацию и обеднение воды кислородом, но и создают угрозу инфекционных заболеваний. Люди и животные, заражённые болезнетворными бактериями, вирусами и другими паразитами, могут выделять в стоки большое количество таких патогенов или их яиц. Именно по этой причине в 19 и даже в 20 веках случались опустошительные эпидемии холеры, брюшного тифа – до тех пор, пока во всём мире не были приняты санитарно-гигиенические правила, предотвращающие распространение патогенов. Это, прежде всего, дезинфекция запасов воды для населения хлорированием или другими методами.

Действие ядовитых (токсичных) соединений на гидробионты проявляется в зависимости от их концентрации. При больших концентрациях наступает гибель гидробионтов, при меньших – изменяются обмен веществ, темп развития, мутагенез, потеря способности к размножению и др. Заметим, что особенно чувствительны к вредным веществам гидробионты, находящиеся на начальных стадиях своего развития: икринки и т.п. Так, при водородном показателе  $pH = 5,7$  и менее из икринок перестает выводиться молодь лососевых, форели, плотвы, хотя взрослые особи этих рыб могут существовать в подобных водах ещё длительное время. Наиболее благоприятные (для гидробионтов) значения  $pH = 6,5 \dots 8,5$ . Отдельные популяции, например, зоопланктон, чрезвычайно чувствительны к вредным веществам. Уже небольшие концентрации вредных веществ вызывают их гибель, и это влияет на биоценоз в целом.

Особую опасность для гидросферы несут ядохимикаты, загрязняющие как грунтовые воды, так и водоёмы. Наиболее распространены ядохимикаты на основе соединений тяжёлых металлов (свинец, олово, мышьяк, кадмий, ртуть, хром, медь, цинк) и синтетических органиче-

ских соединений. Ионы тяжёлых металлов, попадая в организм, подавляют активность ряда ферментов, что приводит к крайне тяжёлым физиологическим и неврологическим последствиям, например, умственная отсталость при свинцовом отравлении, психические аномалии и врождённые уродства при ртутных отравлениях. Синтетические органические соединения, прежде всего, галогенированные и, в частности, хлорированные углеводороды (используются для производства пластмасс, синтетических волокон, искусственного каучука, лакокрасочных покрытий, растворителей, пестицидов и т.д.), попадая в организм, нарушают его функционирование. Даже небольшие дозы приводят к крайне тяжёлым эффектам, например, канцерогенному (развитие рака), мутагенному (появление мутаций) и тератогенному (врождённые дефекты у детей). При определённых дозах возможны острое отравление и смерть. Ядохимикаты особенно опасны в связи с их способностью накапливаться в организмах (биоаккумуляция) и с возможностью биоконцентрирования. В последнем случае животные последующих трофических уровней, питаясь организмами, накопившими ядохимикат, получают исходно более высокие концентрации. В результате на вершине данной пищевой цепи концентрация химиката в организме может стать в  $10^5$  раз выше, чем во внешней водной среде. Классический пример биоаккумуляции и биоконцентрации, известный как болезнь Минамата, произошёл в 1950-х г.г. в рыбацком посёлке Минамата в Японии. Химическое предприятие, расположенное неподалёку, сбрасывало содержавшие ртуть отходы в реку, впадавшую в залив, где рыбачили жители Минаматы. Ртуть сначала поглощали бактерии и другие редуценты, разлагавшие детрит, затем она концентрировалась в пищевой цепи, попадая через рыб к людям. До сих пор о трагедии напоминают уродливые тела и умственная отсталость части жителей Минаматы.

## **5.2. Нормирование, регулирование, контроль качества воды в водоемах**

### **5.2.1. Нормирование и регулирование качества воды в водоёмах**

Охрана водоёмов от загрязнений осуществляется в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (1988 г.). Правила включают в себя общие требования к водопользователям в части сброса сточных вод в водоёмы. Правилами установлены две категории водоёмов: 1 – водоёмы питьевого и культурно-бытового назначения; 2 – водоёмы рыбохозяйственного назначения. Состав и свойства воды водных объектов первого типа должны соответст-

воват нормам в створах, расположенных в водотоках на расстоянии не менее одного километра выше ближайшего по течению пункта водопользования, а в непроточных водоёмах – в радиусе не менее одного километра от пункта водопользования. Состав и свойства воды в водоёмах II типа должны соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (при наличии течений), а при отсутствии рассеивающего выпуска – не далее чем в 500 м от места выпуска.

Правилами установлены нормируемые значения для следующих параметров воды водоёмов: содержание плавающих примесей и взвешенных частиц, запах, привкус, окраска и температура воды, значение рН, состав и концентрация минеральных примесей и растворённого в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде, состав и предельно допустимая концентрация (ПДК) ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий. Под предельно допустимой концентрацией понимается концентрация вредного (ядовитого) вещества в воде водоёма, которая при ежедневном воздействии в течение длительного времени на организм человека не вызывает каких-либо патологических изменений и заболеваний, в том числе у последующих поколений, обнаруживаемых современными методами исследований и диагностики, а также не нарушает биологического оптимума в водоёме.

Вредные и ядовитые вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие данного вещества. Для водоёмов первого типа используют три типа ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический, для водоёмов второго типа – ещё два вида: токсикологический и рыбохозяйственный.

Санитарное состояние водоёма отвечает требованиям норм при выполнении неравенства

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i^m} \leq 1 \quad (5.1)$$

для каждой из трёх (для водоёмов второго типа – для каждой из пяти) групп вредных веществ, ПДК которых установлены соответственно по санитарно-токсикологическому ЛПВ, общесанитарному ЛПВ, органолептическому ЛПВ, а для рыбохозяйственных водоёмов – ещё и по токсикологическому ЛПВ и рыбохозяйственному ЛПВ. Здесь  $n$  – число вредных веществ в водоёме, относящихся, положим, к «санитарно-токсикологической» группе вредных веществ;  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества из данной группы вредных веществ;  $m$  – номер группы вредных веществ, например,  $m = 1$  – для «санитарно-токсикологической»

группы вредных веществ,  $m = 2$  – для «общесанитарной» группы вредных веществ и т.д. – всего пять групп. При этом должны учитываться фоновые концентрации  $C_{\phi}$  вредных веществ, содержащихся в воде водоёма до сброса сточных вод. При преобладании одного вредного вещества с концентрацией  $C$  в группе вредных веществ данного ЛПВ должно выполняться требование:

$$C + C_{\phi} \leq \text{ПДК}, \quad (5.2)$$

Использование соотношения (5.2) основано на допущении применимости принципа аддитивности вредностей разных веществ, относящихся, например, к четвёртой, «токсикологической» группе вредных веществ. То есть допускается, что интегральная «вредность» многокомпонентной системы вредных веществ может быть определена как арифметическая сумма «вредностей» отдельных компонент. Между тем известно явление синергизма, когда два или более вредных (ядовитых) веществ могут дать эффект вредного действия на организм, во много раз превосходящий сумму действия каждого из них. Так, недавно установлено, что галогенированные углеводороды и, возможно, другие химикаты (первый фактор) ослабляют иммунную систему, в результате чего организм становится более подверженным действию инфекций и паразитов (второй фактор). Есть предположение, что именно это обстоятельство стало причиной катастрофического вымирания тюленей в Северном море в  $70^x \dots 80^x$  годах. Однако количественно эффект синергизма изучен ещё недостаточно, поэтому сегодня допускается использование принципа аддитивности вредных компонент, относящихся к какому-либо ЛПВ.

Установлены ПДК для более 640 вредных основных веществ в водоёмах питьевого и культурно-бытового назначения, а также более 150 вредных основных веществ в водоёмах рыбохозяйственного назначения. В таблице 5.4 приведены ПДК некоторых веществ в воде водоёмов.

Для самих сточных вод ПДК не нормируются, а определяются предельно допустимые количества сброса вредных примесей, ПДС. Поэтому минимально необходимая степень очистки сточных вод перед сбросом их в водоём определяется состоянием водоёма, а именно - фоновыми концентрациями вредных веществ в водоёме, расходом воды водоёма и др., то есть способностью водоёма к разбавлению вредных примесей.

Запрещено сбрасывать в водоёмы сточные воды, если существует возможность использовать более рациональную технологию, безводные процессы и системы повторного и оборотного водоснабжения – повторное или постоянное (многократное) использование одной и той же воды

в технологическом процессе; если стоки содержат ценные отходы, которые возможно утилизировать; если стоки содержат сырьё, реагенты и продукцию производства в количествах, превышающих технологические потери; если сточные воды содержат вещества, для которых не установлены ПДК.

Таблица 5.4

*Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в водоёмах*

Вещество	Водоёмы I категории		Водоёмы II категории	
	ЛПВ	ПДК, г/м <sup>3</sup>	ЛПВ	ПДК, г/м <sup>3</sup>
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,500	Токсикологический	0,500
Фенолы	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	То же	0,100	То же	0,050
Cd <sup>2+</sup>	Санитарно-токсикологический	0,010	Токсикологический	0,005
Cu <sup>2+</sup>	Органолептический	1,000	То же	0,010
Zn <sup>2+</sup>	Общесанитарный	1,000	- « -	0,010
Цианиды	Санитарно-токсикологический	0,100	- « -	0,050
Cr <sup>6+</sup>	Органолептический	0,100	-	0,000

Режим сброса может быть единовременным, периодическим, непрерывным с переменным расходом, случайным. При этом необходимо учитывать, что расход воды в водоёме (дебет реки) изменяется и по сезонам, и по годам. В любом случае должны удовлетворяться требования условия (5.2).

Большое значение имеет метод сброса сточных вод. При сосредоточенных выпусках смешение стоков с водой водоёма минимально, и загрязнённая струя может иметь большое протяжение в водоёме. Наиболее эффективно применение рассеивающих выпусков в глубине (на дне) водоёма в виде перфорированных труб.

В соответствии с изложенным одной из задач регулирования качества вод в водоёмах является задача определения допустимого состава сточных вод, то есть того максимального содержания вредного вещества (веществ) в стоках, которое после сброса ещё не даст превышения концентрации вредного вещества в водах водоёма над ПДК данного вредного вещества.

Уравнение баланса растворённой примеси при сбросе её в водоток

(реку) с учётом начального разбавления в створе выпуска имеет вид [9]:

$$C_{ст} = n_o[n_{p.c}(C_{p.c} - C_{\phi}) + C_{\phi}] \quad (5.3)$$

Здесь  $C_{cm}$ ,  $C_{p.c}$ ,  $C_{\phi}$  – концентрации примеси в сточных водах до выпуска в водоём, в расчётном створе и фоновая концентрация примеси соответственно, мг/кг;  $n_o$  и  $n_{p.c}$  – кратность разбавления сточных вод в створе выпуска (начальное разбавление) и в расчётном створе, соответственно.

Начальное разбавление сточных вод в створе их выпуска

$$n_o = \frac{Q_o + q}{q}, \quad (5.4)$$

где  $Q_o = LHV$  – часть расхода водостока, протекающая над рассеивающим выпуском, имеющим, положим, вид перфорированной трубы, уложенной на дно, м<sup>3</sup>/с;  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – длина рассеивающего выпуска (перфорированной трубы), м;  $H$ ,  $V$  – средние глубина и скорость потока над выпуском, м и м/с.

После подстановки (5.4) в (5.3) получим, что

$$C_{cm} = \frac{LHV + q}{q} [n_{p.c}(C_{p.c} - C_{\phi}) + C_{\phi}]. \quad (5.5)$$

При  $LHV \gg q$

$$C_{cm} = \frac{LHV}{q} [n_{p.c}(C_{p.c} - C_{\phi}) + C_{\phi}]. \quad (5.6)$$

По ходу водостока струя сточной воды расширяется (за счёт диффузии, турбулентной и молекулярной), вследствие чего в струе происходит перемешивание сточной воды с водой водотока, возрастание кратности разбавления вредной примеси и постоянное уменьшение её концентрации в струе сточной, точнее, теперь уже перемешанной воды. В конечном счете, створ (сечение) струи расширится до створа водотока. В этом месте водотока (где створ загрязнённой струи совпал со створом водотока) достигается максимально возможное для данного водотока разбавление вредной примеси. В зависимости от величин кратности начального разбавления, ширины, скорости, извилистости и других характеристик водотока концентрация вредной примеси ( $C_{p.c}$ ) может достигнуть значения её ПДК в разных створах загрязнённой струи. Чем раньше это произойдёт, тем меньший участок (объём) водотока будет загрязнён вредной примесью выше нормы (выше ПДК). Понятно, что самый подходящий вариант – когда условие (5.2) обеспечивается уже в самом месте выпуска и, таким образом, размеры загрязнённого участка водотока будут сведены к нулю. Напомним, что этот вариант соответствует условию выпуска стоков в водоток второго типа. Нормативное разбавление до ПДК в створе выпуска требуется и для водотоков первого типа, если выпуск осуществляется в черте населённого пункта. Этот ва-

риант можно обеспечить, увеличивая длину перфорированной трубы выпуска. В пределе, перегородив весь водосток трубой выпуска и включив таким образом в процесс разбавления стоков весь расход водотока, учитывая, что для створа выпуска  $n_{p.c} = 1$ , а также положив в (5.5)  $C_{p.c} = ПДК$ , получим:

$$C_{cm} = \frac{BHV + q}{q} ПДК = \frac{Q + q}{q} ПДК, \quad (5.7)$$

где В и Н – эффективные ширина и глубина водотока; соответственно  $Q = BHV$  – расход воды водотока.

Уравнение (5.7) означает, что при максимальном использовании разбавительной способности водотока (расхода водотока) максимально возможную концентрацию вредного вещества в сбрасываемых сточных водах можно допустить равной  $\frac{Q + q}{q} ПДК \cong \frac{Q}{q} ПДК$ . Если для целей раз-

бавления стоков возможно использование только части расхода воды водотока, например,  $0,2Q$ , то требования к очистке стоков от данного вредного вещества повышаются, и максимально допустимая концентрация вредности в стоках должна быть уменьшена при этом в 5 раз:

$\frac{0,2Q}{q} ПДК$ . При этом величина  $qC_{cm}$ , равная в первом случае  $q \frac{Q}{q} ПДК = Q ПДК$ , а во втором  $q \frac{0,2Q}{q} ПДК = 0,2Q ПДК$ , должна рассматри-

ваться как предельно допустимый сброс (ПДС) данной вредности в водоток, г/с. При превышении данных величин ПДС ( $Q ПДК$  и  $0,2Q ПДК$ , г/с) концентрация вредного вещества в водах водотока превысит ПДК. В первом случае (ПДС =  $Q ПДК$ ) турбулентная (и молекулярная) диффузия уже не уменьшит концентрацию вредности по ходу водотока, так как створ начального разбавления совпадает со створом всего водотока – струе загрязнённой воды некуда диффундировать. Во втором случае по ходу водотока будут иметь место разбавление стоков и уменьшение концентрации вредности в воде водоёма, и на некотором расстоянии S от выпуска концентрация вредного вещества может уменьшиться до ПДК и ниже. Но и в этом случае определённый участок водотока окажется загрязнённым выше нормы, то есть выше ПДК.

В общем случае расстояние от створа выпуска до расчётного створа, то есть до створа с заданной величиной кратности разбавления,  $n_{p.c}$  или – что фактически то же – с заданной концентрацией вредной примеси, например, равной её ПДК будет равно

$$S = \frac{Ax(B-L)}{\phi H} \lg Re_{\delta} \lg n_{p.c}, \quad (5.8)$$

где  $A = 0,9 \dots 2,0$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от категории русла и среднегодового расхода воды водотока;  $B$  – ширина водотока, м;  $x$  – ширина части русла, в которой не производится выпуск (труба не перекрывает всю ширину русла), м;  $\phi$  – коэффициент извилистости русла: отношение расстояния между створами по фарватеру к расстоянию по прямой;  $Re = V H / D$  – диффузионный критерий Рейнольдса.

Расширение загрязнённой струи по ходу водотока происходит, в основном, за счёт турбулентной диффузии, её коэффициент

$$D = \frac{VgH}{MC_{ш}}, \quad (5.9)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m^2/c$ ;  $M$  – функция коэффициента Шези для воды.  $M=22,3 m^{0,5}/c$ ;  $C_{ш}$  – коэффициент Шези,  $C_{ш} = 40 \dots 44 m^{0,5}/c$ .

После потенцирования (5.8) получается значение  $n_{p.c}$  в явном виде

$$n_{p.c} = 10^{\frac{S\phi H}{Ax(B-L)\lg Re_{\partial}}}. \quad (5.10)$$

Подставив выражение для  $n_{p.c}$  в (5.6) и полагая  $C_{p.c} = ПДК$ , получаем:

$$C_{cm} = \frac{LVH}{q} \left[ 10^{\frac{S\phi H}{Ax(B-L)\lg Re_{\partial}}} (ПДК - C_{\phi}) + C_{\phi} \right]. \quad (5.11)$$

Уравнение (5.11) означает: если при начальном разбавлении, определяемом величинами  $L$ ,  $H$ ,  $V$ , и при известных характеристиках водотока  $\phi$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $x$ ,  $Re_{\partial}$ ,  $C_{\phi}$  необходимо, чтобы на расстоянии  $S$  от выпуска стоков концентрация вредного вещества была на уровне ПДК и меньше, то концентрация вредного вещества в стоках перед сбросом не должна быть больше величины  $C_{cm}$ , вычисляемой по (5.11). Перемножив обе части (5.11) на величину  $q$ , приходим к тому же условию, но уже через предельно-допустимый сброс  $C_{cm} q = ПДС$ :

$$ПДС = LVH \left[ 10^{\frac{S\phi H}{Ax(B-L)\lg Re_{\partial}}} (ПДК - C_{\phi}) + C_{\phi} \right]. \quad (5.12)$$

Из общего решения (5.12) следует тот же результат, который получен выше на основе простых соображений. В самом деле, положим, что решается задача: каким может быть максимальный (предельно допустимый) сброс сточной воды в водоток, чтобы уже в месте выпуска ( $S=0$ ) концентрация вредного вещества была равна ПДК, а для начального разбавления используется только пятая часть расхода водотока (дебета реки), то есть  $LHV = 0,2 Q$ .

Поскольку при  $S = 0$   $n_{p.c} = 1$ , из (5.12) получаем:

$$\text{ПДС} = 0,2 \cdot \text{ПДК}$$

На изложенных принципах, в целом, основывается регулирование качества воды в водотоках при сбросе в них взвешенных, органических веществ, а также вод, нагретых в системах охлаждения предприятий.

Условия смешения сточных вод с водой озёр и водохранилищ значительно отличаются от условий их смешения в водотоках – реках и каналах. В частности, полное перемешивание стоков и вод водоёма достигается на существенно больших расстояниях от места выпуска, чем в водотоках. Методы расчёта разбавления стоков в водохранилищах и озёрах приведены в монографии Н.Н. Лапшева *Расчеты выпусков сточных вод.* – М.: Стройиздат, 1977. – 223с.

### **5.2.2. Методы и приборы контроля качества воды в водоёмах**

Контроль качества воды водоёмов осуществляется периодическим отбором и анализом проб воды из поверхностных водоёмов: не реже одного раза в месяц. Количество проб и места их отбора определяют в соответствии с гидрологическими и санитарными характеристиками водоёма. При этом обязателен отбор проб непосредственно в месте водозабора и на расстоянии 1 км выше по течению для рек и каналов; для озёр и водохранилищ – на расстоянии 1 км от водозабора в двух диаметрально расположенных точках. Наряду с анализом проб воды в лабораториях используют автоматические станции контроля качества воды, которые могут одновременно измерять до 10 и более показателей качества воды. Так, отечественные передвижные автоматические станции контроля качества воды измеряют концентрацию растворённого в воде кислорода (до  $0,025 \text{ кг/м}^3$ ), электропроводность воды (от  $10^{-4}$  до  $10^{-2}$  Ом/см), водородный показатель рН (от 4 до 10), температуру (от 0 до  $40^\circ\text{C}$ ), уровень воды (от 0 до 12м). Содержание взвешенных веществ (от 0 до  $2 \text{ кг/м}^3$ ). В таблице 5.5 приведены качественные характеристики некоторых отечественных типовых систем для контроля качества поверхностных и сточных вод.

На очистных сооружениях предприятий осуществляют контроль состава исходных и очищенных сточных вод, а также контроль эффективности работы очистных сооружений. Контроль, как правило, осуществляется один раз в 10 дней.

Пробы сточной воды отбираются в чистую посуду из боросиликатного стекла или полиэтилена. Анализ проводится не позже, чем через 12 часов после отбора пробы. Для сточных вод измеряются органолептические показатели, рН, содержание взвешенных веществ, химическое по-

требление кислорода (ХПК), количество растворённого в воде кислорода, биохимическое потребление кислорода (БПК), концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК.

Таблица 5.5

Качественные характеристики некоторых отечественных типовых систем для контроля качества поверхностных и сточных вод

<b>Система (лаборатория, комплекс)</b>	<b>Область применения</b>
1. Гидрохимическая лаборатория ГХЛ – 66	Физико-химический анализ состава и свойств природных и сточных вод
2. Лаборатория анализа воды ЛАВ – 1	Определение качества питьевой воды, воды водоёмов, состава сточных вод и содержания в них примесей
3. Комплекс технических средств автоматизированной системы контроля загрязнения поверхностных вод типа АНКОС – ВГ	Автоматическое определение и запись физико-химических параметров поверхностных вод, в их числе концентрации $Cl_2$ , $F_2$ , $Cu$ , $Ca$ , $Na$ , фосфатов, нитридов

Контролируются два органолептических показателя воды при анализе сточных вод: запах и цвет, который устанавливается измерением оптической плотности пробы на спектрофотометре на различных длинах волн проходящего света.

Величина рН в сточных водах определяется электрометрическим способом. Он основан на том, что при измерении рН в жидкости потенциал стеклянного электрода, опущенного в жидкость, изменяется на постоянную для данной температуры величину (например, на 59,1 мВ при температуре 298 К, на 58,1 мВ при 293 К и т.д.). Отечественные марки рН-метров: КП-5, МТ-58, ЛПУ-01 и др.

При определении грубодисперсных примесей в стоках измеряется массовая концентрация механических примесей и фракционный состав частиц. Для этого применяют специальные фильтроэлементы и измерение массы «сухого» осадка. Также периодически определяются скорости всплывания (осаждения) механических примесей, что актуально при отладке очистных сооружений.

Величина ХПК характеризует содержание в воде восстановителей, реагирующих с сильными окислителями, и выражается количеством кислорода, необходимым для окисления всех содержащихся в воде вос-

становителей. Окисление пробы сточной воды производится раствором бихромата калия в серной кислоте. Собственно измерение ХПК осуществляется либо арбитражными методами, производимыми с большой точностью за длительный период времени, и ускоренными методами применяемыми для ежедневных анализов с целью контроля работы очистных сооружений или состояния воды в водоёме при стабильных расходе и составе вод.

Концентрацию растворённого кислорода измеряют после очистки сточных вод перед их сбросом в водоём. Это необходимо для оценки коррозионных свойств стоков и для определения БПК. Чаще всего используется йодометрический метод Винклера для обнаружения растворённого кислорода с концентрациями больше  $0,0002 \text{ кг/м}^3$ , меньшие концентрации измеряются колориметрическими методами, основанными на изменении интенсивности цвета соединений, образовавшихся в результате реакции между специальными красителями и сточной водой. Для автоматического измерения концентрации растворённого кислорода используют приборы ЭГ – 152 – 003 с пределами измерений  $0 \dots 0,1 \text{ кг/м}^3$ , «Оксиметр» с пределами измерения  $0 \dots 0,01$  и  $0,01 \dots 0,02 \text{ кг/м}^3$ .

БПК – количество кислорода (в миллиграммах), необходимое для окисления в аэробных условиях, в результате происходящих в воде биологических процессов органических веществ, содержащихся в 1л сточной воды, определяется по результатам анализа изменения количества растворённого кислорода с течением времени при  $20^\circ\text{C}$ . Чаще всего используют пятисуточное биохимическое потребление кислорода – БПК<sub>5</sub>.

Измерение концентрации вредных веществ, для которых установлены ПДК, проводят на различных ступенях очистки, в том числе перед выпуском воды в водоём.

## **5.3. Классификация методов очистки сточных вод. Основы процессов и принципы механической очистки стоков**

### **5.3.1. Классификация методов очистки сточных вод**

Очистка сточных вод – лишь одно из направлений защиты гидросферы, прежде всего, поверхностных вод от антропогенных загрязнений. Главный путь защиты гидросферы так же, как и атмосферы и литосферы, – поиск технологий, исключающих образование значимых количеств вредных твёрдых и жидких отходов, вредных примесей в сточных водах и отходящих (в атмосферу) газов, что входит составной частью в главное направление деятельности сегодняшней техносферы – создание

практически безотходных и малоотходных технологий. Такие технологии предполагают комплексную переработку сырья с использованием всех его компонентов на базе безотходных процессов, создание продукции с учётом требований её повторного использования, переработку отходов производства и потребления с получением товарной продукции или любое полезное их использование без нарушения экологического равновесия, использование замкнутых систем промышленного водоснабжения и др. Число таких технологий непрерывно возрастает. Так, для угольных тепловых станций (ТЭС) разработаны "сухие", без использования воды, системы золошлакоудаления, что полностью исключает проблему очистки стоков из систем гидрозолоудаления современных угольных ТЭС. Разработаны и успешно реализуются бессточные системы водоподготовки на ТЭС.

Можно подумать, что разработка и совершенствование принципов, методов и средств очистки сточных вод от вредных примесей – временное явление, которое прекратится с разработкой безотходных и малоотходных технологий. Это справедливо лишь отчасти.

В большом числе случаев принципы, методы, средства очистки сточных вод (равно как и отходящих газов) могут быть использованы в новых технологиях, так что прогресс в области средств очистки способствует созданию малоотходных и безотходных технологий.

Методы очистки сточных вод весьма разнообразны и предопределяются физико-механическими, физическими, химическими и микробиологическими (биологическими) характеристиками содержащихся в них примесей. Существует несколько видов классификации методов очистки. Наиболее распространена следующая классификация:

- 1) методы механической очистки (от взвешенных – в виде суспензий и эмульсий – веществ);
- 2) физико-химические методы очистки (от коллоидно-дисперсных и истинно растворенных примесей);
- 3) химические методы очистки (от истинно растворенных примесей);
- 4) биологические методы очистки (от органических веществ).

Как правило, системы очистки сточных вод строятся на основе использования комплекса методов очистки. Состав методов определяется характером технологических процессов данного производства.

Эффективность и надёжность работы любого очистного устройства обеспечиваются в определённом диапазоне значений концентрации примесей и расхода сточной воды.

Во временном графике технологических процессов могут быть значительные изменения, сопровождаемые изменением расхода сточных

вод, состава и концентрации примесей. В таких случаях необходимо усреднение концентрации примесей и расхода сточной воды. С этой целью на входе в очистные сооружения устанавливают усреднители, выбор и расчёт которых определяется характером изменения во времени расхода стоков, состава и концентрации примесей.

В самом общем виде последовательность этапов очистки стоков можно представить следующим образом:

1) усреднение стоков. Оно может осуществляться не только на самом начальном этапе – при очистке от грубодисперсных примесей, но и на всех последующих этапах – там, где имеется неравномерность состава и расхода стоков и где целесообразно слияние близких по составу стоков (с разных участков производства) перед очередным этапом очистки;

2) очистка от грубодисперсных веществ: решётки, песколовки, отстойники, аппараты, основанные на отделении твёрдых примесей в поле действия инерционных сил (напорные гидроциклоны, центрифуги), флотация;

3) очистка от коллоидно-дисперсных примесей (коагуляция, электрокоагуляция);

4) регулирование кислотности (щёлочности) стоков, например, с помощью известкования (нейтрализация);

5) фильтрование на зернистых насыпных, например, песчано-гравийных фильтрах – для очистки от тонкодисперсных примесей (частиц), имевшихся в исходных стоках или образовавшихся на предыдущих этапах очистки.

Совокупность предыдущих этапов очистки стоков в отечественной специальной литературе часто называют предочисткой. Она важна и сама по себе, и для осуществления последующих этапов очистки (если они необходимы) – от истинно растворенных примесей в виде отдельных ионов, молекул или комплексов молекул. Аппаратные средства для их удаления чрезвычайно чувствительны к водным гетерогенным системам и быстро выходят из строя при появлении в стоках эмульсий, суспензий, коллоидных примесей;

6) очистка стоков от молекулярных примесей, например, путём дегазации, адсорбции, экстракции;

7) очистка от вредных веществ, находящихся в стоках в ионном состоянии: перевод ионов в малодиссоциирующие соединения; нейтрализация; окисление; образование комплексных ионов и перевод их в малорастворимое состояние; ионитная фильтрация (ионный обмен); сепарация ионов при изменении фазового состояния воды, например, дистилляция; ультрафильтрация; электродиализ; воздействие магнитных и

акустических полей и др.;

8) на заключительном этапе очистки может быть предусмотрено повторное фильтрование – для очистки стоков от дисперсных примесей, образовавшихся на этапах очистки от истинно растворенных примесей, а также обезвреживание (дезинфекция) очищенных стоков от патогенных организмов (микроорганизмов), особенно в тех случаях, когда в системе очистки стоков производства имеются устройства биологической очистки, могущие быть очагом распространения патогенных микроорганизмов;

9) биологическая очистка применяется для очистки стоков от органических примесей: сточные воды пропускаются через устройства (аэротенки, например), насыщенные мощными колониями специально подобранных микроорганизмов, которые извлекают органические вещества из стоков для питания и, таким образом, минерализуют органические примеси. Для интенсификации процессов стоки обогащаются кислородом (окситенки). Минерализация органических примесей могла бы произойти естественным образом в самом водоёме. Но это привело бы к резкому уменьшению содержания кислорода в воде и к дестабилизации (гибели) экосистемы водоёма. С помощью устройств и сооружений биологической очистки процесс минерализации выносится, таким образом, за пределы водоёма.

### **5.3.2. Основы процессов и принципы механической очистки стоков**

Механическая очистка сточных вод – технологический процесс очистки сточных вод механическими и физическими методами. Она применяется с целью выделения из стоков грубодисперсных минеральных и органических загрязнителей и в большинстве случаев является предварительным этапом перед последующими, более тонкими методами очистки. Очистка сточных вод от твёрдых частиц грубодисперсных веществ в зависимости от их свойств, концентрации, фракционного состава осуществляется методами процеживания, отстаивания, отделения в поле инерционных сил и фильтрования.

Процеживание – первичная очистка посредством пропускания стоков через решётки и волокнуловители – для выделения крупных примесей размером 25 мм и более, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе оборудования. Металлические решётки с зазором 5...25 мм устанавливаются в коллекторах сточных вод, размеры поперечного сечения решёток выбираются по минимуму потерь давления потока на решётке.

Отстаивание основано на особенностях процесса осаждения твёр-

дых частиц в жидкости. Осаждение может быть свободным, без слипания частиц, и при параллельно протекающем коагулировании осаждающихся частиц. Механизм свободного осаждения сохраняется при объёмной концентрации частиц до 1% (до массовой концентрации ~ 2,6 кг/м<sup>3</sup>).

Скорость осаждения – основа для проектирования устройств отстаивания – определена для сферических частиц с учётом сил гидравлического сопротивления, массовых сил и силы Архимеда:

$$\omega_o = \frac{gd_c^2(\rho_c - \rho)}{18\mu},$$

где  $\mu$  - динамическая вязкость воды, Па/с;  $\rho$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $d_c$  - средний диаметр частиц, м;  $\rho_c$  – плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Для  $d_c > 1$  мм при нарушении ламинарного движения осаждения

$$\omega_o = K \sqrt{gd_c \frac{\rho_c - \rho}{\mu}},$$

где  $K$  – коэффициент формы частиц,  $K = 1,2 \dots 2,3$ .

На основе принципа отстаивания построены песколовки и отстойники.

Существует несколько типов песколовков. В горизонтальной песколовке (рисунок 5.2) сточная вода движется горизонтально с оптимальной скоростью  $\omega = 0,15 \dots 0,30$  м/с. За время движения в песколовке частица, осаждающаяся со скоростью  $\omega_o$ , должна достичь дна (шламосборника), поэтому отношение глубины  $h$  к  $\omega_o$  должно быть меньше времени  $\tau$  движения стоков в песколовке,  $\tau = 30 \dots 100$ с, которым определяется и длина песколовки  $L$ . Ширина песколовки  $B$  определяется максимальным расходом сточных вод  $Q$ ,  $B = Q/h\omega$ .

В вертикальных песколовках сточная вода получает вертикальную

(вниз, к шламосборнику) составляющую скорости движения, что облегчает осаждение частиц.

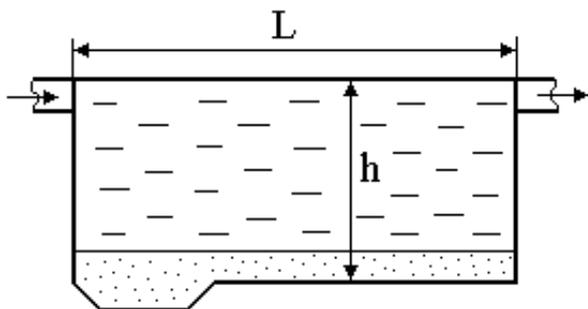
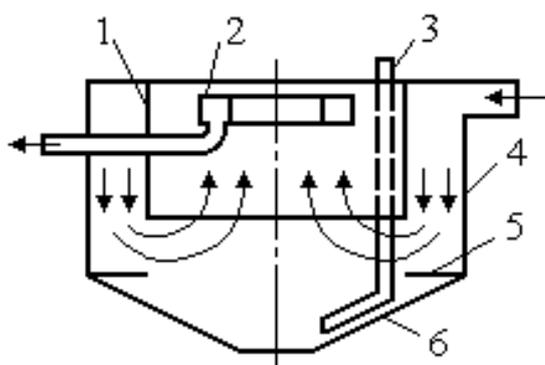


Рис. 5.2. Схема горизонтальной песколовки

В аэрируемых песколовках крупные частицы осаждаются, как и в горизонтальных песколовках, а мелкие обволакиваются пузырьками воздуха, нагнетаемого в сточную

воду, всплывают на поверхность и удаляются с неё с помощью скребковых механизмов.

С помощью отстойников из сточных вод выделяются частицы с размером менее 0,25 мм. По направлению движения воды в отстойниках их делят на горизонтальные, вертикальные, радиальные, комбинированные. Особенности отстойников: меньшие по сравнению с песколовками скорости движения стоков в связи с меньшими значениями  $\omega_0$  данных частиц и наличием элементов конструкции, способствующих увеличению вертикальной составляющей скорости сточной воды по направле-



нию к шламоборнику. На рисунке 5.3 приведена схема вертикального отстойника.

*Рис. 5.3. Схема вертикального отстойника*

Сточная вода поступает в кольцевую зону между перегородкой 1 и корпусом 4 и движется вниз. Отразившись от отражательного кольца 5, вода (очищенная) уходит во внутреннюю полость перегородки и через кольцевой водосборник 2 выводится из отстойника, а твёрдые частицы, приобретя скорость движения вниз (она не должна превосходить скорость оседания частиц), достигают шламоборника 6. Осадок из шламоборника 6 периодически удаляется через трубопровод 5.

Отделение твёрдых частиц в поле действия инерционных сил производится в гидроциклонах, открытых и напорных, и центрифугах. Гидроциклоны по принципу действия, а напорные – и по конструкции аналогичны циклонам для очистки газов от твёрдых частиц (см. раздел 4).

Фильтрованием обеспечивается очистка сточных вод от тонкодисперсных твёрдых примесей с небольшой концентрацией, в том числе после физико-химических, химических, биологических методов очистки. Известны два основных класса фильтров: зернистые, представляющие собой однослойные или многослойные насадки пористых несвязанных материалов (кварцевый песок, дроблёный шлак, гравий, антрацит), и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготовлены из связанных пористых материалов.

На рисунке 5.4 представлен многослойный зернистый каркасно-насыпной фильтр. Сточная вода поступает по коллектору 1, через отверстия в нём равномерно распределяется по сечению фильтра. Она проходит через слои гравия 2 и песка 3, через перфорированное днище

4, установленное на слое гравия 5 и через трубопровод 6 отводится из фильтра. Регенерация (очистка) фильтра производится продувкой сжатого газа через трубопровод 8 с последующей обратной промывкой водой через вентиль 7. Скорость фильтрования составляет 0,0014...0,0028 м/с.

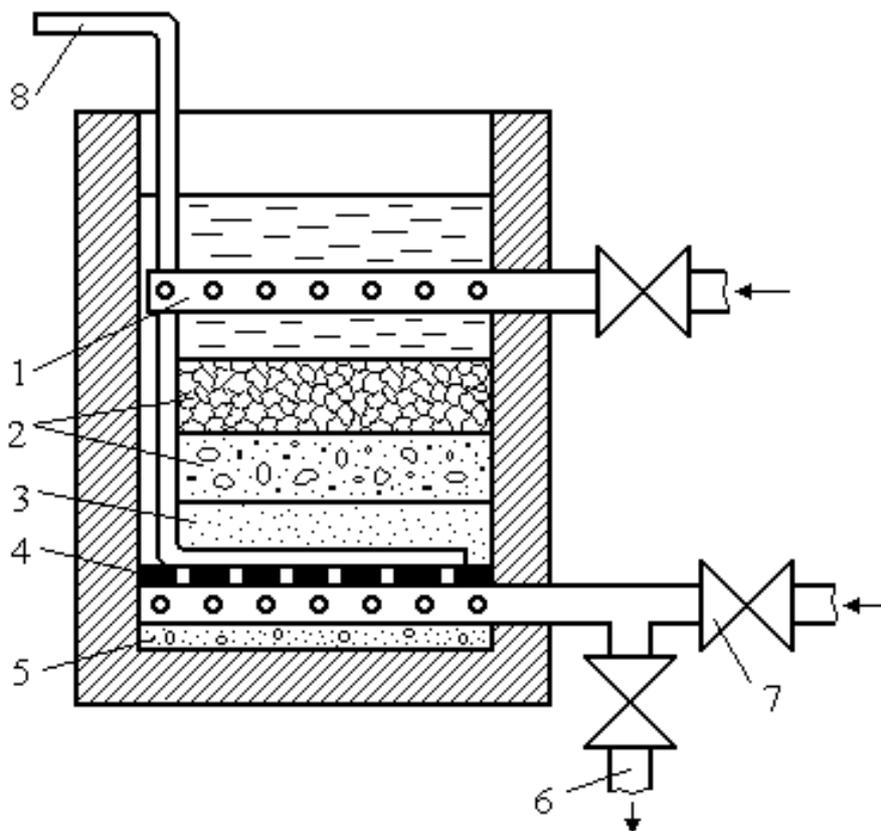


Рис. 5.4. Схема многослойного зернистого каркасно-насыпного фильтра

Известны электромагнитные фильтры для очистки стоков от ферромагнитных примесей. В них используются ponderomotorные силы взаимодействия между намагниченной фильтровальной загрузкой из ферромагнитных частиц и ферромагнитными примесями сточной воды.

### 5.3.3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов

Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов можно отнести к группе методов механической очистки от суспензий и эмульсий. В настоящее время такая очистка производится, в основном, отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией, фильтрованием.

Примеси нефтепродуктов относятся к всплывающим. Отстаивание основано на закономерностях всплывания примесных частиц нефтепродуктов по тем же законам, по которым происходит осаждение твердых

частиц. Отстаивание осуществляется в отстойниках и ловушках, при этом, как правило, предусматривается использование отстойников, как для осаждения твёрдых частиц, так и для всплывания нефтепродуктов. Расчёт длины отстойника производится по скорости осаждения твёрдых частиц и по скорости всплывания маслопродуктов, принимается наибольшее из двух значений.

Маслоловушки (ловушки примесей нефтепродуктов) по конструкции аналогичны горизонтальным отстойникам; при скорости движения стоков в ловушке 0,003 ... 0,008 м/с сточные воды находятся в ловушке около двух часов, всплывшие на поверхность нефтепродукты удаляются маслосборным устройством.

При концентрированных маслосодержащих стоках применяют обработку сточных вод реагентами, способствующими быстрой коагуляции примесей:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и др.

Отделение нефтепродуктов в поле действия инерционных сил осуществляется в напорных гидроциклонах. На рисунке 5.5 представлена схема напорного гидроциклона, предназначенного для очистки стоков от металлической окалины и масла.

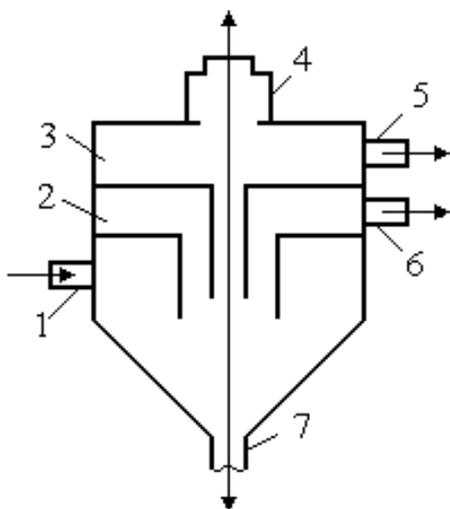


Рис. 5.5. Схема комбинированного напорного гидроциклона

Стоки через установленный тангенциально по отношению к корпусу гидроциклона трубопровод 1 поступают в гидроциклон. Твёрдые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона и стекают в шламоборник 7. Сточная вода с примесью нефтепродуктов движется вверх, при этом из-за меньшей плотности нефтепродуктов они концентрируются в ядре закрученного потока, который поступает в приёмную камеру 3 и через трубопровод 5 выводится из гидроциклона для последующей утилизации. Очищенная сточная вода скапливается в камере 2, откуда через трубопровод 6 отводится для дальнейшей очистки. Выход 4 с регулируемым гидравлическим сопротивлением предназначен для выпуска воздуха, концентрирующегося в ядре закрученного потока очищаемой сточной воды.

Очистка сточных вод от маслопримесей флотацией заключается в интенсификации процесса всплывания нефтепродуктов при обволакивании их частиц пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду. Об-

разование агрегатов «частица - пузырьки воздуха» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия находящихся в стоках веществ, давления воздуха и т.д.

По способу образования пузырьков различают несколько видов флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, биологическую, электрофлотацию и др.

При пневматической флотации сточные воды очищаются от нефтепродуктов, поверхностно-активных и органических веществ и от взвешенных частиц малых размеров. Сжатый воздух в виде мельчайших пузырьков поступает в сточную воду через насадки из пористого материала. При всплывании пузырьки воздуха обволакивают частицы нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и мелких твёрдых частиц, увеличивая скорость их всплывания. Образующаяся на поверхности очищаемой воды пена отсасывается центробежным насосом в пеносорбник для последующего извлечения из неё нефтепродуктов. Одновременно кислородом, содержащимся в пузырьках воздуха, окисляются органические примеси. Происходит также насыщение очищаемой воды кислородом.

При электрофлотации происходящие в сточной воде электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. При использовании электродов из алюминия или железа происходит коагулирование и осаждение мельчайших коллоидных частиц (электрокоагуляция).

Очистка стоков от примесей нефтепродуктов фильтрованием - необходимый заключительный этап очистки: концентрация нефтепродуктов на выходе отстойников или гидроциклонов достигает  $0,01 \dots 0,2 \text{ кг/м}^3$ , что значительно превышает ПДК нефтепродуктов в водоёмах ( $0,0005 \text{ кг/м}^3$  - для водоёмов первой категории и  $0,00005 \text{ кг/м}^3$  - для водоёмов второй категории). Очень низкого содержания нефтепродуктов в воде требуют и условия многократного использования сточных вод при оборотном водоснабжении предприятий.

Структура аппаратов очистки сточных вод от нефтепродуктов аналогична структуре аппаратов очистки от твёрдых частиц: зернистые насыпные фильтры. Наиболее распространённые фильтроматериалы: кварцевый песок, доломит, керамзит, глауконит; эффективность очистки повышается при добавлении волокнистых материалов (асбест и отходы его производства). В настоящее время в качестве фильтроматериала всё шире применяются частицы пенополиуретана. Главное достоинство фильтров из пенополиуретана - простая регенерация путём механического отжимания нефтепродуктов.

## 5.4. Физико-химические методы очистки сточных вод

Физико-химическая очистка – одно из наиболее распространённых направлений очистки сточных вод. Оно применяется самостоятельно или в сочетании с химическими, механическими, биологическими методами.

### 5.4.1. Коагуляция, флокуляция и электрокоагуляция

В практике очистки сточных вод метод коагуляции часто применяется после удаления грубодисперсных примесей – для удаления коллоидных частиц. Коагуляция – процесс слипания коллоидных частиц и образования грубодисперсной макрофазы (флокул) с последующим её выделением из воды.

Один из видов коагуляции – флокуляция, при которой мелкие взвешенные частицы под влиянием специально добавляемых веществ (флокулянтов) образуют интенсивно оседающие хлопьевидные образования.

Основной процесс коагуляционной очистки сточных вод – гетерокоагуляция, при которой коллоидные (и мелкодисперсные частицы) взаимодействуют с агрегатами, образующимися при введении в стоки коагулянтов.

Основные коагулянты:

а) соли алюминия: глинозём  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ; алюминат натрия  $NaAlO_2$ ; оксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl$ ; полихлорид алюминия  $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m \cdot (SO_4)_x$ , где  $1 \leq n \leq 5m \leq 10$ ;

б) соли железа: железный купорос  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ; хлорид железа  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ; сульфат железа  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ ;

в) соли магния: хлорид магния  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ; сульфат магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ;

г) известь;

д) шламовые отходы и отработанные растворы отдельных производств.

Сточные воды смешивают с коагулянтом в специальных устройствах – смесителях в течение 1...3 мин., хлопьеобразование происходит в камерах хлопьеобразования, например, с механическим перемешиванием. Осаждение хлопьев и частиц, образовавшихся в результате коагуляции, производится в отстойниках, этот процесс часто называют осветлением стоков, а соответствующие отстойники – осветлителями.

Согласно современным представлениям, основная масса коллоид-

ных частиц имеет одинаковый отрицательный заряд и потому имеет высокую агрегативную устойчивость. Появление в сточной воде положительных ионов способствует нейтрализации электрических полей отрицательных зарядов коллоидных частиц и они теряют свою агрегативную устойчивость. В наибольшей степени агрегативную устойчивость частиц понижают ионы  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ , и это обстоятельство предопределило применение в качестве коагулянтов именно солей железа и алюминия. В последующем практика и теория коагуляции привели к заключению, что в стоки достаточно ввести не соли алюминия или железа, а только ионы  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ . Это достигается анодным растворением Al или Fe в воде при прохождении через воду электрического тока. Такой процесс коагуляции называется электрокоагуляцией, а соответствующие аппараты – электрокоагуляторами.

#### 5.4.2. Сорбция

Сорбция – процесс поглощения вещества (сорбата) из очищаемой среды твёрдым телом или жидкостью (сорбентом). Поглощение вещества массой жидкого сорбента – абсорбция, поверхностным слоем твёрдого сорбента – адсорбция. Если при поглощении происходит химическое взаимодействие сорбента и сорбата, процесс называют хемосорбцией.

При очистке сточных вод в качестве сорбентов применяют искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели, активные глины. Наиболее эффективны активированные угли, пористость которых достигает 75 %, а удельная площадь поверхности – 900 м<sup>2</sup>/кг. Расход сорбента определяют из соотношения:

$$m = \frac{Q(C_0 - C_k)}{a},$$

где  $m$  – масса сорбента, кг;  $Q$  – расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;  $C_0$  и  $C_k$  – концентрации примесей до и после прохождения стоками сорбционной установки, кг/м<sup>3</sup>;  $a$  – удельная активность сорбента – количество поглощаемого вещества на единицу массы сорбента, кг/с.

На рисунке 5.6 представлена схема сорбционной установки. Сточная вода поступает в адсорбер 2 по трубопроводу 1. По трубопроводу 4 подаётся адсорбент, перемешиваемый со стоками импеллером 3. Адсорбент с поглощёнными примесями оседает на дно адсорбера, откуда удаляется через трубопровод 8. Сточная вода со взвешенными частицами сорбента поступает в отстойник 5, в котором частицы сорбента оседают на дно и удаляются по трубопроводу 7, а очищенная сточная вода направляется по трубопроводу 6 для последующей обработки.

Обычно сорбционная установка представляет собой несколько параллельно работающих секций, каждая из которых состоит из трёх-пяти последовательно расположенных фильтров, схема которых представлена на рисунке 5.6.

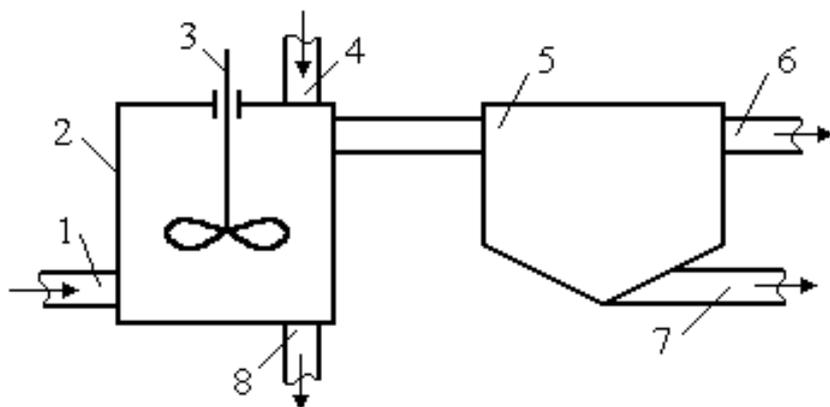


Рис. 5.6. Схема сорбционной установки

Регенерацию сорбентов производят экстрагированием органическими растворителями;

отгонкой водяным паром; испарением адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя. Вследствие обратимости процессов сорбции их целесообразно использовать для очистки сточных вод от примесей, которые можно использовать повторно в технологическом процессе.

### 5.4.3. Экстракция

Метод применяется для удаления из стоков примесей, представляющих техническую ценность (фенолы, жирные кислоты), основан на распределении примеси в смеси двух взаимонерастворимых жидкостей (сточной воды и экстрагента) соответственно коэффициенту экстракции (распределения)  $K_э = C_э / C_в$ , где  $C_э$  и  $C_в$  – концентрации примеси в экстрагенте и в воде при установившемся равновесии. Так, для бутилацетата, который широко используется для удаления из стоков фенола, коэффициент экстракции составляет 8...12. Экстрагент должен иметь следующие свойства: высокий  $K_э$ ; селективность – способность экстрагировать из стоков одно вещество или определённую их группу; малую растворимость в воде; плотность, отличающуюся от плотности воды; нетоксичность; низкую стоимость и др.

Конечная концентрация  $C_в$  экстрагируемого вещества в стоках определяется из соотношения:

$$C_в = \frac{C_0}{(1 + BK_э)^n},$$

где  $C_0$  – начальная концентрация вещества в стоках, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – число экстракций,  $B$  – удельный расход экстрагента для одной экстракции, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, равный

$$B = \frac{W}{n \cdot Q} ,$$

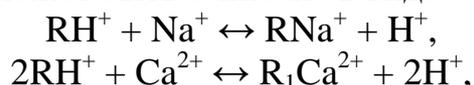
Где  $W$  – общий объём экстрагента, затрачиваемого на экстракцию,  $\text{м}^3$ ;  
 $Q$  – объём стоков, подвергающихся экстракции,  $\text{м}^3$ .

Регенерация экстрагента из сточных вод и из экстракта (раствор примеси, удаляемой из стоков, в экстрагенте) осуществляется водяным паром.

#### 5.4.4. Ионный обмен

Метод (гетерогенный ионный обмен или ионообменная сорбция) основан на процессе обмена между ионами, находящимися в растворе (в сточных водах), и ионами, присутствующими на поверхности твёрдой фазы – ионита. Молекулярная структура ионита содержит матрицу – молекулу нерастворимого органического вещества – и введенную в матрицу функциональную группу, способную обмениваться ионами с очищаемым раствором. Наиболее распространены синтетические органические иониты – ионообменные смолы. Иониты разделяются на катиониты и аниониты.

Катиониты – материалы, способные обмениваться катионами, то есть положительными ионами. Их функциональные группы, например,  $\text{SO}_3\text{H}$  – сульфогруппа,  $\text{COOH}$  – карбоксильная группа. При контакте с водой функциональная группа диссоциирует с отщеплением иона водорода. Последний легко может быть вытеснен другим положительным ионом, который, положим, необходимо удалить из сточной воды. Реакция ионного обмена может быть записана в виде:

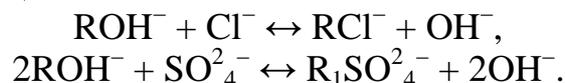


Здесь  $R$  обозначает комплекс катионитной матрицы и катионитной функциональной группы без обменного иона (одновалентного),  $R_1$  – новый комплекс, образовавшийся в результате объединения двух комплексов  $R$  двухвалентным ионом кальция.

Значит, подобный ионообменный фильтр поглощает из раствора ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и т.д., а раствору передаёт ионы водорода.

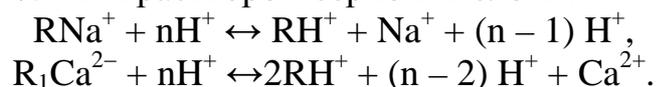
Аниониты – материалы, способные обмениваться с раствором анионами, то есть отрицательными ионами. По аналогии с катионитами, структура анионита может быть обозначена как  $\text{ROH}^-$ , где  $R$  – комплекс анионитной матрицы и анионитной функциональной группы.

Примеры реакций обмена:



Регенерация катионов производится слабыми растворами кислот,

например, 1,0...1,5 %-ным раствором серной кислоты:



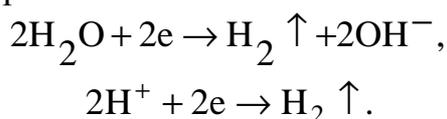
Регенерация анионитных фильтров производится обычно 4 %-ным раствором NaOH.

Ионный обмен производится в ионообменных фильтрах, которые в общих конструктивных чертах подобны механическим зернистым насыпным фильтрам. При пропускании сточной воды (прошедшей предочистку) через ионообменный фильтр частицы (зёрна) ионитного фильтроматериала расходуют свой ионообменный ресурс, и фронт насыщения ионами, удаляемыми из сточной воды, постепенно перемещается от входа фильтра к его выходу. При «крутом» фронте насыщения имеет место наиболее полное использование ионитного фильтроматериала. При подходе фронта насыщения к выходу насыпного ионообменного фильтра подача сточной воды прекращается, чтобы не допустить проскока через насыщенный фильтр ионов, удаляемых из сточной воды. Насыщенный фильтр подлежит регенерации, а очищаемые сточные воды пропускаются через свежий ионообменный фильтр.

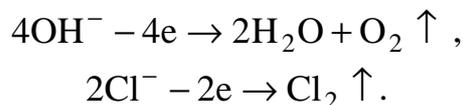
#### 5.4.5. Электродиализ

Этот метод – вариант ионного обмена. Но в нём ионитный слой заменён специальными ионообменными мембранами, а движущая сила – внешнее электрическое поле.

При наложении постоянного электрического поля на раствор в последнем возникает движение ионов растворённых солей, а также  $H^+$  и  $OH^-$ . При достижении катода катионы, а также молекулы воды восстанавливаются, например:



На аноде происходит окисление анионов:



Если в электродную ячейку поместить ионообменные мембраны: катионообменную, пропускающую только катионы, – со стороны катода, а со стороны анода – анионообменную, пропускающую только анионы, то объём ячейки разделится на три камеры (рисунок 5.7). В этом случае в катодную камеру из средней могут проходить лишь катионы, мигрирующие к катоду, а в анодную – анионы, мигрирующие к аноду. Значит, концентрация ионов в средней (второй по счёту, чётной)

камере будет уменьшаться, в приэлектродных камерах – увеличиваться.

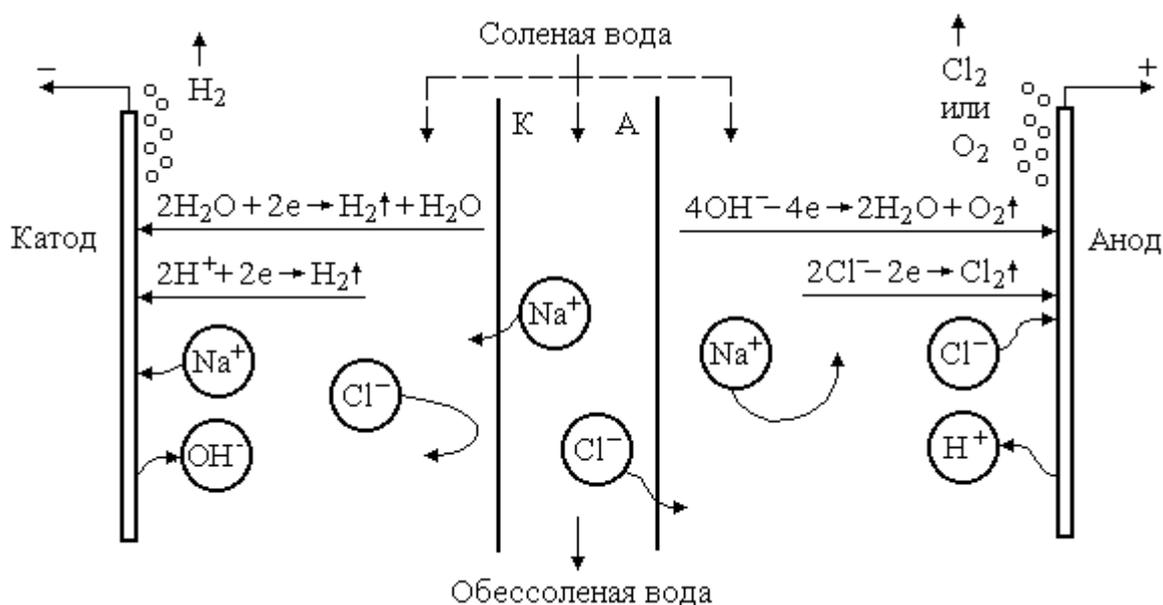


Рис. 5.7. Упрощенная принципиальная схема электродиализатора

Если электродную ячейку разделить на множество камер, то половина из них будет обессоливаться (чётные камеры), другая (нечётные камеры) – наоборот, насыщаться. Значит, очищенной от солей является вода (сточная вода) из чётных камер электродиализатора.

Мембраны для аппаратов производят в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов полимерного связующего с порошком ионообменных смол. Наиболее эффективное использование электродиализаторов – при концентрации солей в сточной воде 3...8 г/л.

#### 5.4.6. Гиперфильтрация (обратный осмос) и ультрафильтрация

Гиперфильтрация – процесс непрерывного молекулярного разделения растворов путём их фильтрования под давлением через полупроницаемые мембраны, задерживающие полностью или частично молекулы либо ионы растворённого вещества. При этом размеры отделяемых частиц (молекул, гидратированных ионов) сопоставимы с размерами молекул растворителя (воды). Необходимое давление, превышающее осмотическое давление растворённого вещества в растворе, может достигать 5...10 МПа. Гиперфильтрация производится в случае относительно высокого осмотического давления растворённого вещества в растворе.

В растворах, содержащих высокомолекулярные вещества с максимальным диаметром частиц 0,5 мкм, осмотическое давление пренебрежимо мало. Для их разделения применяют процесс ультрафильтрации

на специальных мембранах, пропускающих лишь воду, ионы и молекулы низкомолекулярных соединений. В этом случае рабочее давление в аппарате не превышает 0,5 МПа. Ультрафильтрацией также отделяют коллоидные частицы и мелкодисперсные фракции грубодисперсных веществ.

Наибольшей удельной площадью поверхности (на один кубический метр объёма аппарата,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ) обладают аппараты из полых волокон малого (45...200 мкм) диаметра,  $20000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Производительность – до  $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

#### **5.4.7. Другие методы физико-химической очистки сточных вод**

**Э в а п о р а ц и я.** Этот метод строится, в основном, либо на парциркуляционном процессе, либо на азеотропной ректификации. В первом случае загрязнения отгоняются с циркулирующим водяным паром. При этом сточные воды движутся через колонку с насадкой (загрузкой) навстречу острому пару, нагреваются до  $100^\circ\text{C}$ , при этом находящиеся в них летучие примеси переходят в паровую фазу. Затем пар отмывается от загрязнений раствором щелочи.

**А з е о т р о п н а я р е к т и ф и к а ц и я** основана на свойстве ряда летучих соединений образовывать нераздельнокипящие смеси с водой. В колоннах, обогреваемых паром, часть воды отгоняется в виде азеотропной смеси с загрязняющим компонентом. Из нижней части колонны выходят очищенные стоки, а из верхней части отводится пар и поступает в конденсатор. Конденсат после охлаждения направляется на сепарацию, где разделяется на два слоя - водный и органический. Водный слой сбрасывается в ёмкость исходной сточной воды, загрязняющий компонент – на переработку или использование.

**В ы п а р и в а н и е.** Применяется для увеличения концентрации солей, содержащихся в сточных водах, и ускорения их последующей кристаллизации, а также для обезвреживания небольших количеств, например, радиоактивных сточных вод. Требуется очень больших энергетических затрат.

Испарение осуществляется с открытой поверхности сточных вод на открытых испарительных площадках, площадь которых рассчитывается в зависимости от климатических условий и состояния грунтов.

**К р и с т а л л и з а ц и я** основана на различной растворимости веществ, содержащихся в сточных водах, при разных температурах. При изменении температуры получают пересыщенные растворы находящихся в них веществ, затем их кристаллы. Метод применяется при очистке высококонцентрированных сточных вод.

**Т е р м о о к и с л и т е л ь н ы е** методы – парофазное окисление

(«огневой метод»), жидкофазное окисление («мокрое сжигание»), парофазное каталитическое окисление.

При «огневом методе» сточные воды в распылённом состоянии вводятся в высокотемпературные продукты горения топлива и испаряются, при этом органические примеси сгорают. Минеральные примеси образуют твёрдые или расплавленные частицы, они выводятся из рабочей камеры печи или уносятся с дымовыми газами.

Жидкофазное окисление органических примесей сточной воды кислородом воздуха производится при повышенных температурах (до 350°C) и давлении.

Термокаталитическое окисление.

Сточные воды подаются в выпарной аппарат, где пары воды и органических веществ, воздух и газы нагреваются до 300°C, затем смесь идёт в контактный аппарат, загруженный катализатором. Обезвреженная смесь охлаждается, конденсат используется в производстве.

## 5.5. Химическая очистка сточных вод

К химической очистке сточных вод относят, как правило, очистку от загрязнений при использовании химических реагентов. Она широко применяется при локальной очистке сточных вод предприятия. В целом, химическая очистка стоков может быть использована и как доочистка промышленных сточных вод, например, их дезинфекция. Основные методы химической очистки: нейтрализация и окисление.

### 5.5.1. Нейтрализация

Типичная реакция нейтрализации:



При подборе соответствующей концентрации нейтрализующего иона, например,  $\text{OH}^-$ , вводимого в стоки с гашёной известью, концентрация каждого из ионов становится приблизительно равной, то есть значение рН приближается к 7. К нейтральным относятся воды с рН = 6,5...8,5.

Чаще всего стоки загрязнены кислотами: серной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , азотной  $\text{HNO}_3$ , соляной  $\text{HCl}$  или их смесями, реже - азотистой  $\text{HNO}_2$ , фосфорной  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , сернистой  $\text{H}_2\text{SO}_2$ , сероводородной  $\text{H}_2\text{S}$  и органическими, например, уксусной  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , пикриновой  $\text{HOC}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3$ , угольной  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и др.

Способы нейтрализации:

- а) взаимная нейтрализация кислых и щелочных стоков;
- б) нейтрализация реагентами;

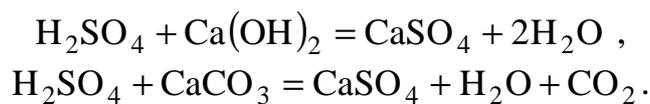
в) фильтрование через нейтрализующие материалы.

Взаимная нейтрализация кислых и щелочных стоков.

Кислые стоки в промышленности обычно сбрасываются равномерно в течение суток, щелочные – по мере отработки щелочных растворов, для которых необходимо устраивать регулирующий резервуар. Из резервуара щелочные стоки равномерно выпускаются в камеру реакции, где и происходит взаимная нейтрализация. Метод особенно распространён в химической промышленности.

Нейтрализация стоков реагентами. В качестве реагентов используются растворы кислот, негашёной CaO и гашёной извести, кальцинированной соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, каустической соды NaOH, аммиака NH<sub>3</sub>OH. Реагентная нейтрализация используется в случаях, когда на предприятии образуются только или кислые, или щелочные стоки, или если невозможно произвести взаимную нейтрализацию кислых и щелочных стоков.

Для нейтрализации минеральных кислот применяют любой щелочной реагент, чаще известь, а также карбонаты кальция или магния, например:



Образующийся гипс кристаллизуется из разбавленных растворов (такowymi являются сточные воды) в виде CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O.

Для нейтрализации органических жирных кислот используют известь, содержащую 25...30 % активного оксида кальция или смесь извести с 25%-ной технической аммиачной водой.

Нейтрализация стоков фильтрованием через нейтрализующие материалы. Обычно применяется для нейтрализации кислых сточных вод, в качестве нейтрализующих материалов используются известь, известняк, доломит CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, магнезит MgCO<sub>3</sub>, обожжённый магнезит MgO, мел CaCO<sub>3</sub>. Крупность фракций фильтроматериала 3...8 см, скорость фильтрования до 5 м/ч, продолжительность контакта – не менее 10 мин.

Конструктивно фильтры выполняются с вертикальным движением кислых стоков.

При нейтрализации кислых стоков предусматривается надёжная изоляция оборудования или изготовление его из кислотоупорного материала.

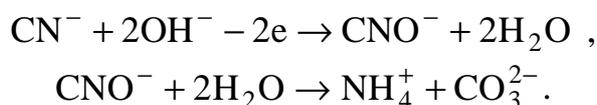
### 5.5.2. Окисление

Метод используется для обезвреживания стоков, содержащих токсичные соединения (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка) или соединения, которые нецелесообразно извлекать из сточных вод или очищать другими методами: стоки участков гальванических покрытий в машиностроении и приборостроении; стоки производств переработки свинцово-цинковых и медных руд в горнодобывающей промышленности; стоки цехов варки целлюлозы в целлюлозобумажной промышленности и т.п.

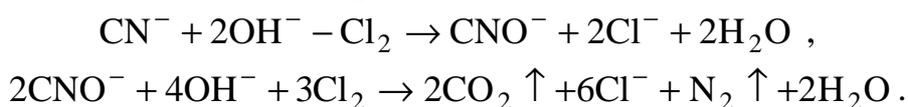
При очистке стоков используют окислители: хлор, гипохлорат кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, кислород воздуха и технический кислород. Реже применяют пероксид водорода, оксиды марганца, перманганат и бихромат калия.

Окисление активным хлором – один из наиболее распространенных способов очистки стоков от ядовитых цианидов, сероводорода; содержание цианидов в стоках может достигать 100 мг/л и более, и это требует их очистки перед подачей на биологическую очистку или перед выпуском в водоём.

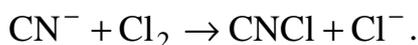
Так, окисление ядовитых цианид-ионов  $\text{CN}^-$  производится переводом их в нетоксичные цианиты  $\text{CNO}^-$ , которые гидролизуются с образованием ионов аммония и карбонатов:



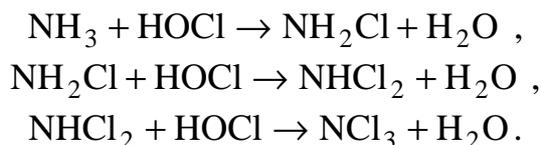
Окисление цианидов хлором можно проводить только в щелочной среде ( $\text{pH} \geq 9 \dots 10$ ) образующиеся цианиты можно окислить до элементарного азота и диоксида углерода:



При снижении pH происходит прямое хлорирование цианида с образованием токсического хлорциана:



При наличии в стоках аммиака, аммонийных солей или органических веществ, содержащих аминогруппы, хлор, хлорватистая кислота и гипохлориты вступают с ними в реакцию, образуя моно – и дихлорамины и трёххлористый азот:

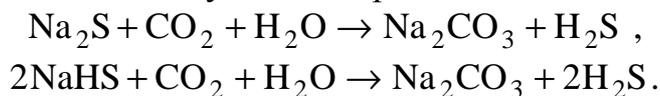


*Окисление кислородом воздуха* используется для окисления сульфидных стоков и стоков нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Окисление гидросульфидной и сульфидной серы протекает через ряд стадий:



При этом сера изменяет свою валентность с  $-2$  до  $+6$ . Если  $pH = 7 \dots 13,75$ , то продуктом окисления сероводорода, гидросульфида сульфита является тиосульфат.

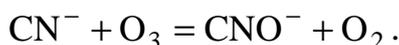
Разрушение сульфидных соединений можно осуществлять диоксидом углерода, содержащимся в дымовых газах, при этом образование карбонатов происходит следующим образом:



Выделяющийся сероводород – сырьё для получения серной кислоты.

*Озонирование.* Озон способен разрушить (обезвредить) в водных растворах при нормальной температуре многие органические (неорганические) вещества, его преимущество в том, что его можно получить непосредственно на очистной станции (посредством тихого электрического разряда в газовой среде) из технического кислорода или кислорода атмосферного воздуха.

Так, уже упомянутые ядовитые цианид-ионы под воздействием озона окисляются в нетоксичные цианит-ионы:



Принципиальная технологическая схема озонирования стоков состоит из двух основных узлов: получение озона и очистка сточных вод.

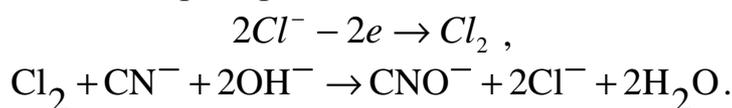
Озон и его водные растворы чрезвычайно коррозионны. Наиболее устойчивые материалы: нержавеющая сталь и алюминий.

Озонирование эффективно при очистке стоков от фенолов, циклопентана, циклогексана, тетраэтилсвинца, цианидов, крезолов, поверхностно-активных веществ. Процесс озонирования можно интенсифицировать совместным воздействием озона и ультразвука или озона и УФ-излучения.

*Электрохимическое окисление.* В его основе лежат анодное окисление и катодное восстановление. На аноде (графит, магнетит, диоксиды свинца, магния, рутения, нанесённые на титановую основу) в зависимости от солевого состава стоков и условий электролиза выделяются кислород и галогены, окисляются некоторые органические вещества. На катоде (свинец, цинк, легированная сталь) происходит выделение газообразного водорода и восстановление некоторых органических веществ.

Опыт применения электрохимических методов для очистки стоков показал их высокую эффективность при удалении фенолов, цианидов, нитросоединений, сульфидов, аминов, кетонов, альдегидов, спиртов.

Для снижения расхода электроэнергии и интенсификации окисления в сточные воды добавляют минеральные соли, обычно NaCl, который разлагается с выделением на аноде атомов хлора, участвующих в процессе окисления, например:



Основные параметры процесса: плотность тока до 100 А/м<sup>2</sup>; объёмная плотность тока до 3 А/л; количество вводимого хлорида натрия 5...10 г/л.

*Радиационное окисление* органических и минеральных веществ в сточных водах происходит за счёт реакции этих веществ с продуктами радиолиза воды: OH<sup>-</sup>, HO<sub>2</sub><sup>-</sup> (в присутствии кислорода), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>. В качестве источников излучения могут быть использованы радиоактивные кобальт и цезий, тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), радиационные контуры, ускорители электронов. Имеется лабораторный опыт очистки стоков от фенолов, цианидов, красителей, инсектицидов, поверхностно-активных веществ.

Радиационное окисление примесей в стоках – перспективный метод. В практике очистка стоков пока широко не используется из-за сложного аппаратурного оформления и больших затрат.

## **5.6. Биологическая очистка сточных вод**

### **5.6.1. Общие представления о биологической очистке сточных вод**

Биологическая очистка сточных вод – технологический процесс очистки сточных вод, основанный на способности биологических организмов (редуцентов) разлагать загрязняющие вещества.

Биологическое разрушение (окисление) загрязняющих органических веществ производит биоценоз, включающий в себя в общем случае бактерий, простейших, водорослей, грибов, колероваток, червей и т.д., потребляющих органическое вещество и в процессе дыхания превращающих его в воду и углекислый газ. Пирамида массы данного биоценоза представлена на рисунке 5.8.

Общая схема окисления загрязняющих органических веществ в аэробных условиях:



ганизмы + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + биологически неокисляемые растворённые вещества;

б) микроорганизмы + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + N + P + биологически разрушаемая часть клеточного вещества.

Реакция (а) отображает окисление исходных органических загрязнений и образование новой биомассы; реакция (б) представляет процесс эндогенного (внутреннего) окисления клеточного вещества, происходящий после использования внешнего источника питания (органических загрязнений стоков).

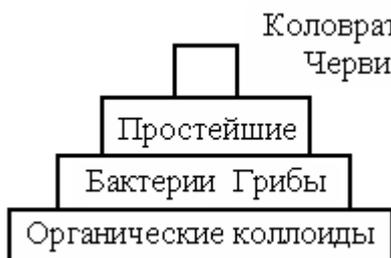


Рис. 5.8. Пирамида биомассы биоценоза, разрушающего (окисляющего) органические загрязнения сточных вод

Ферментативные реакции окисления загрязняющих органических веществ, содержащихся в сточных водах, происходят внутри бактериальной клетки, куда элементы питания должны попадать сквозь её оболочку. Поэтому важная роль в общем процессе окисления принадлежит внеклеточному ферментативному гидролитическому расщеплению частиц и крупных молекул на более мелкие, соизмеримые с размерами клетки.

### 5.6.2 Влияние факторов на биологическую очистку стоков

*Температура.* Как правило, оптимальные температуры для аэробных процессов 20...30°C; существуют группы бактерий, функционирующих в других температурных интервалах: психофилы – 10...15°C, термофилы – 50...60°C и др. Роль температуры связана, в частности, с температурной зависимостью растворимости кислорода в воде.

*Величина рН.* Биологическая очистка эффективна при рН = 5...9, оптимальная – при рН = 6,5...7,5; есть бактерии, склонные к кислой (грибы, дрожжи, рН = 4...6) или к слабощелочной среде (актиномицеты).

*Содержание биогенов.* Биогенные элементы N и P необходимы бактериальной клетке как «строительный» (N) и энергетический (P) материал, необходимы также (в незначительных количествах) элементы Mn, Zn, Cu, Mo и др.

Сбалансированность элементов питания для бактерий в сточных водах определяется соотношением БПК<sub>д</sub>: N: P (N – азот аммонийных солей и P – фосфор в виде растворённых фосфатов). Оптимальным для биоочистки стоков считается соотношение 100 : 5 : 1, характерное для нефтеперерабатывающих заводов; для производства поливинилацетат-

ных пластмасс, например, оно составляет 100 : 3,9 : 0,8.

*Уровень питания* - величина суточной нагрузки по загрязнениям в пересчёте на 1 м<sup>3</sup> очистного сооружения, выражаемая через БПК<sub>п</sub>, приходящаяся на 1г беззольной части биомассы. Оптимальная (классическая) суточная нагрузка – 150...400 мг БПК<sub>п</sub>/г·сут.

*Токсичные вещества.* Ими могут быть органические и неорганические вещества, их действие может быть микробостатическим (задерживается рост и развитие микроорганизмов) и убивающим (микробоцидным). Существуют ПДК для сооружений биологической очистки.

### **5.6.3 Методы и сооружения биологической очистки**

*Естественные методы:* почвенная очистка на полях фильтрации (орошения) и очистка в биологических прудах.

Биологическая очистка на *полях орошения* заключается в том, что при прохождении стоков через слой почвы в последней адсорбируются взвешенные и коллоидные вещества, образующие микробиологическую плёнку. Эта плёнка окисляет задержанные органические вещества и минерализует их. Такие поля оснащены системой подводящих, распределительных и отводящих сооружений. Простейший вариант поля орошения для очистки непромышленных стоков описан в монографии Б. Нейбел Наука об окружающей среде: Как устроен мир: В 2-х т. Пер. с англ. – М: Мир, 1993. – Т.1-420 с., Т.2-424с.. Неочищенные стоки города Эммитсберга (США) сначала поступают в пруд, где оседает мусор и самые крупные частицы. Это – первичная очистка, характерная практически для всех методов биоочистки. Часто вместо пруда используются большие баки, называемые первичными отстойниками. Затем стоки подаются на поля с пахотным слоем около 30 см. Здесь выращивается канареечник – кормовой злак, активно поглощающий из почвы азот и другие биогены. Глинистая водонепроницаемая подпочва образует плавный уклон в направлении от оросительной трубы: сточные воды просачиваются сквозь пахотный слой и стекают в дренажную канаву на другой стороне поля. По мере прохождения стоков сквозь почву обитающий в ней биоценоз (см. рисунок 5.8) разлагает и усваивает органические отходы и обогащает почву биогенами. Канареечник поглощает питательные элементы, поэтому вода на выходе поля весьма чистая и почти лишена их. Эту воду используют для полива кормовых культур, канареечник скашивают и скармливают скоту. Таким образом, биогены совершают полный круговорот, попадая из сточных вод в траву, в мясо животных, в человека, затем опять в стоки и в почву.

Серьёзным препятствием для подобной очистки и использования промышленных стоков является частое содержание в них ядовитых ве-

ществ – свинца, ртути, хрома, не разлагаемой органики. Между тем, промышленность часто сбрасывает свои отходы в коммунальные очистные системы, эти отходы подавляют организмы, участвующие в системах биоочистки и серьёзно снижают её эффективность. Предварительная очистка промышленных стоков от ядовитых отходов позволит шире использовать сточные воды для орошения.

*Биологические пруды* - искусственные водоёмы с использованием естественных процессов – применяются для очистки промышленных и коммунальных стоков. Здесь культивируют биоценозы, аналогичные рассмотренным для случая полей орошения. Различают биологические пруды с естественной и искусственной аэрацией. Последняя позволяет значительно уменьшить требуемую площадь прудов.

Биологическая очистка сточных вод *в искусственных сооружениях* производится *в биологических фильтрах, аэротенках и окситенках.*

*В биофильтрах* сточная вода из отстойников (первичных) разбрызгивается и стекает струйками по слою щебня, гравия и т.п. загрузочного фильтроматериала, толщина которого может достигать 2...3 м. При разбрызгивании сточная вода обогащается кислородом. Как и в естественных ручьях, в этих условиях функционирует сложная экосистема из бактерий, простейших, мелких червей и других микро- и макроорганизмов, прикрепленных к элементам фильтроматериала. Они “выедают” из протекающей воды органическое вещество, включая патогенов. Случайно смытые с биофильтров организмы устраняются во вторичных отстойниках. В биофильтрах сточные воды теряют до 90 % органических веществ. Интенсивность биоокисления органического вещества в биофильтре повышается при подаче сжатого воздуха через фильтр в направлении, противоположном фильтрованию.

*Аэротенки* представляют собой, в сущности, отстойники, в которые помещают активный ил – смесь микро- и макроорганизмов – детритофагов, то есть пожирателей неживого органического вещества, образующих специфический водный биоценоз (рисунок 5.8) с водой, органическим веществом, биологически неокисляемыми растворёнными веществами и биологически неокисляемой частью клеточного вещества. По мере движения воды по аэротенку она интенсивно аэрируется сжатым воздухом, то есть создаётся идеальная среда для развития указанных организмов.

*Окситенки* - модификация аэротенков, в которые вместо сжатого воздуха поступает газообразный кислород, что приводит к интенсификации процессов окисления.

Сточная вода после аэро- и окситенков направляется во вторичные отстойники, осадок которого – тот же активный ил, который снова на-

правляют в аэрационный резервуар. Излишки активного ила вместе с илом – сырцом (осадком и всплывшим грубодисперсным веществом в первичном отстойнике) направляют на переработку – сбраживание или компостирование. В результате получают метан и качественное удобрение (гумус) для сельскохозяйственных полей и газонов.

До трёх последних десятилетий острой необходимости в дополнительной очистке сточных вод после вторичной (после вторичных отстойников) не ощущалось. Воду дезинфицировали хлоркой и сбрасывали в естественные водоёмы. Однако по мере развития эвтрофикации всё более значимой становится проблема введения ещё одного этапа очистки – доочистки, устраняющей биогены. Например, фосфаты можно устранить, добавив в воду известь (ионы кальция). Образуется нерастворимый фосфат кальция, который можно удалить фильтрованием. Если избыток фосфата – главная причина эвтрофикации, этого уже достаточно.

При соответствующей доочистке можно добиться того, что получится вода, пригодная для питья. В обозримом будущем предстоит всё чаще решать вопрос о том, оправданно ли направление такой воды в сеть муниципального водоснабжения. Если вопрос нехватки воды обострится, то, по-видимому, ответ всё чаще будет положительным. Многие из нас бледнеют при мысли о подобном вторичном использовании сточных вод, в частности, городских канализационных стоков. Однако, вероятнее всего, с этим придётся смириться: ведь и в природе в любом случае вода совершает круговорот. Между тем подходящая доочистка может обеспечить воду гораздо лучшего качества, чем получаемая из многих рек и озёр, в которые сбрасываются практически неочищенные канализационные стоки.

Перед сточными водами, прошедшими вторичную биоочистку, есть альтернативный путь: на орошение сельскохозяйственных полей и газонов – в случаях, когда это предотвращает забор таких же количеств чистой воды из естественных водоёмов.

#### **5.6.4. Глубокая очистка и обеззараживание сточных вод**

Содержащиеся в биологически очищенных сточных водах биомасса, растворённые органические загрязнения, поверхностно-активные вещества (ПАВ), биогены (N, P) препятствуют сбросу их в водоёмы или повторному использованию на предприятии. Задачи завершающей, глубокой очистки: снижение содержания взвешенных веществ; снижение БПК и ХПК, содержания ПАВ, N, P; обеззараживание сточных вод и насыщение их кислородом.

Снижение БПК (ХПК), содержания взвешенных веществ и ПАВ обеспечивается, как правило, использованием уже рассмотренных зер-

нистых фильтров. Это достигается задержанием суспензированной биомассы и минерализацией растворённых в воде органических веществ с помощью биомассы, накапливающейся в фильтровальной загрузке как в биофильтре. Так, эффект удаления взвешенного активного ила на каркасно-насыпном фильтре достигает 80 % при исходной концентрации 20 мг/л, эффект снижения БПК<sub>п</sub> – 70 % при исходной концентрации 10...15 мг/л, снижение ПАВ в виде грубодисперсной фазы – 80 % при исходной концентрации 2,5 мг/л; на фильтрах «Оксипор» обеспечивают снижение концентрации взвешенных веществ, БПК<sub>5</sub>, ПАВ, ХПК и содержания нефтепродуктов, соответственно на 90, 80, 70, 70 и 80 % при концентрациях поступающих загрязнений в пределах ПДК для биологической очистки.

Для удаления азота, находящегося в сточных водах в виде свободного аммиака, солей аммония и нитритов, используются методы: отдувка аммиака; удаление нитратов методами ионного обмена, хлорирования, озонирования, гиперфильтрации, электролиза; восстановление нитратов до молекулярного азота химическим и биологическим методом (денитрификация).

При очистке некоторых категорий сточных вод биогены удаляются уже на второй стадии биоочистки – в сооружениях с активным илом, обогащённым микроводорослями. Последние активно усваивают биогены азота, фосфора, калия, углерода в процессе фотосинтеза.

Глубокая очистка сточных вод от соединений фосфора производится в химико-биологическом процессе очистки с введением солей железа или алюминия на ступени очистки перед аэротенками, в активный ил или в поток иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники. Образующиеся нерастворимые соединения фосфора осаждаются с активным илом и удаляются вместе с избыточным илом. Удаление фосфатов также возможно при введении в сточные воды извести, например, после вторичного отстойника или во вторичный отстойник.

Для глубокой доочистки сточных вод от растворённых органических загрязнений используются также биологические пруды.

Глубокая очистка сточных вод от СПАВ, нефтепродуктов, соединений азота, сернистых соединений, красителей и других трудноокисляемых веществ производится методом сорбции активными углеродосодержащими сорбентами в комплексе с другими методами очистки.

Обеззараживание очищенных сточных вод осуществляется для возможно полного уничтожения оставшихся патогенных бактерий. Из четырёх направлений обезвреживания: термический; с помощью сильных окислителей; воздействием ионов благородных металлов; с помощью ультразвука, УФ- и радиоактивного излучений – наиболее распро-

странено второе. В качестве окислителей используются хлор, диоксид хлора, озон, марганцевоокислый калий, пероксид водорода, гипохлорид натрия и кальция.

### **5.7. Обратные системы водоснабжения промышленных предприятий**

Большинство промышленных предприятий являются крупными потребителями воды, что обусловлено универсальностью её свойств и распространённостью на Земле.

Так, в энергетической отрасли, на тепловых и атомных электростанциях (ТЭС и АЭС) рабочим телом являются вода и водяной пар. В зависимости от того, для каких целей используется вода на электростанции, к качеству воды предъявляются различные требования. На ТЭС и АЭС различают: воду и пар, используемые как рабочее тело (пар, конденсат, питательная вода); добавочную воду (для восполнения потерь рабочего тела в цикле электростанции); сетевую и подпиточную воду теплосетей и техническую воду. Последняя используется для отвода теплоты от отработавшего пара в конденсаторах турбин, в системе гидрозолошлакоудаления, для охлаждения масла и газа турбин и электрогенераторов, охлаждения подшипников вспомогательных механизмов, для отвода тепла из бассейнов выдержки тепловыделяющих элементов АЭС и для ряда других целей. Незначительная часть технической воды, поступающей на электростанцию, является исходной для подготовки добавочной воды основного цикла и подпиточной воды.

Значит, в процессах использования технической (природной) воды на электростанции образуются: золошлаковая пульпа (для ТЭС на твёрдом топливе), замасленные и замазученные воды (для ТЭС на мазуте), стоки химцехов, в которых подготавливается вода для использования в цикле в качестве рабочего тела (засоленные воды), стоки химических промывок и консервации оборудования, обмывок поверхностей нагрева котлов и воздухоподогревателей и подогретая (в сравнении с источником) сбросная вода конденсаторов турбин (тепловое загрязнение).

Как и для других промышленных предприятий, для ТЭС и АЭС принципиально возможны два варианта водопользования. По первому техническая вода забирается из природного источника (река, озеро) и после использования на электрической станции и соответствующей очистки сбрасывается в тот же источник. Эта система технического водоснабжения – *прямоточная*.

По второму варианту на электростанции применяется замкнутое водопользование, а из природных источников техническая вода на ТЭС и АЭС подаётся лишь в количествах, необходимых для восполнения ес-

тественных её потерь на электростанции. Этому варианту соответствуют *оборотные* системы технического водоснабжения. Они снабжены прудами – охладителями или градирнями.

По варианту прямоточной системы водоснабжения электростанция должна располагаться вблизи крупного природного водного источника, во втором варианте это требование необязательно.

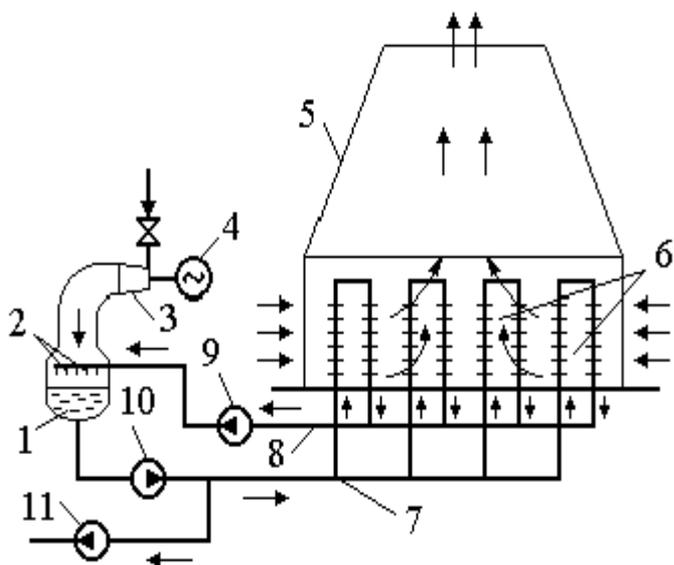
“Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения” регламентируют преимущественное использование оборотных систем водоснабжения, в которых сточные воды после очистки вновь используют в технологических процессах.

Анализ изложенного в настоящей главе позволяет сделать вывод: уже в обозримом будущем общество должно прийти к такому режиму водопользования, когда сброс вод, использованных на промышленных предприятиях, будет исключён: технологической схемой предприятия будет предусмотрено многократное использование некоторого количества воды в тех или иных технологических процессах. То есть повсеместно утвердится высокоэффективное оборотное водоснабжение.

В ряде технологий (фрагментов технологий) это имеет место уже сегодня или планируется на недалёкое будущее. Так, в энергетике реально стоит вопрос о создании бессточных систем ВПУ (водоподготовительных установок, обессоливающих природную воду для пароводяного цикла), об отказе от систем гидрозолошлакоудаления на ТЭС, работающих на твёрдом топливе, и переходе к “сухому”, бессточному удалению золы и шлака и т.п. Очень перспективной и, по-видимому, ещё до конца не оценённой сегодня является разработка оборотной системы водоснабжения ТЭС с воздушно-конденсационной установкой Геллера (рис. 5.9). Такая установка включает в себя конденсатор смешивающего типа, циркуляционный насос и радиаторно-охладительную башню (РОБ). Последняя состоит из корпуса, подобного корпусу градирни, в нижней части которого установлены алюминиевые радиаторы.

Вода (конденсат турбины) циркуляционными насосами прокачивается через радиаторы, в которых она охлаждается потоками воздуха, поступающими в вытяжную башню через боковые окна, имеющиеся в её нижней части. Охлаждённая вода после РОБ используется в конденсаторе смешивающего типа для конденсации отработавшего в турбине пара. Небольшая часть конденсата, в количестве, равном расходу пара, поступающего в конденсатор, после циркуляционных насосов отводится к конденсатному насосу и далее к паровому котлу. Основной поток вновь поступает в РОБ. Воздух через РОБ движется под воздействием естественной тяги. Для увеличения теплообмена радиаторы выполняют оребрёнными. Интенсивность теплообмена сильно зависит от высоты

башни. Поэтому высота РОБ для мощных установок достигает 150 м.



*Рис. 5.9. Схема оборотного водоснабжения с воздушно-конденсационной установкой Геллера*

*1 – смешивающий конденсатор; 2 – форсунки конденсатора; 3 – паровая турбина; 4 – генератор; 5 – вытяжная башня; 6 – охлаждающие колонны; 7 – трубопровод нагретой воды; 8 – трубопровод охлажденной воды; 9 – гидротурбина; 10 – циркуляционный насос; 11 – конденсатный насос*

Установка Геллера замечательна тем, что исключает испарение или капельный унос воды из конденсатора в процессе её охлаждения, как это имеет место в прудах – охладителях или в градирне. Это значительно уменьшает безвозвратные потери воды по сравнению с прямоточной и, особенно, оборотной (с прудами – охладителями или градирнями) системами водоснабжения – до 1 % и 2 % от валового водопотребления соответственно. Валовое потребление – сумма расходов ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) воды, находящейся в обороте и поступающей на станцию свежей воды. Например, для ТЭС мощностью 5 млн. кВт при прямоточной системе водоснабжения для целей конденсации пара в конденсаторе необходим постоянный забор свежей воды  $\sim 140 \text{ м}^3/\text{с}$ . Это – валовое потребление, в котором есть только поступление свежей воды и нет оборотной воды. Безвозвратные потери воды при этом составляют 1 % или  $1,4 \text{ м}^3/\text{с}$ . При оборотной системе, например, с градирнями, для конденсации пара в конденсаторе необходимо примерно такое же количество воды ( $140 \text{ м}^3/\text{с}$ ), но здесь свежая вода составляет  $\sim 5 \%$  от валового водопотребления, то есть  $\sim 7 \text{ м}^3/\text{с}$ , оборотная – 95 % или  $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Внедрение установок Геллера может снизить норму забора свежей воды на электростанциях в 17(!) раз, а норму безвозвратных потерь – в 4 раза.

Конечно, в бессточных технологических процессах в разных отраслях индустрии есть и будут расходы воды на собственно производство продукции и безвозвратные потери, которые будут компенсироваться в соответствии с уравнением:

$$Q_{\text{ист}} = Q_{\text{потребл}} + Q_{\text{потерь}}.$$

При этом тарифная политика в области водопотребления в соответствии с концепцией устойчивого развития (постоянное ужесточение тарифов) с неизбежностью будет вести к уменьшению как  $Q_{\text{потребл}}$ , так и  $Q_{\text{потерь}}$ , поскольку потребитель воды должен будет оплачивать и то, и другое. И если сегодня существует известная сдержанность в части внедрения воздушно-конденсационной системы Геллера (из-за необходимости больших расходов на это), то в рамках осуществления концепции устойчивого развития владельцы электростанций будут вынуждены пойти на большие расходы по внедрению установок Геллера, и этим будет внесён вклад в защиту гидросферы.

В том, что техносфера придёт к бессточным технологиям, сомневаться не приходится: ещё 40...50 лет назад господствовали прямоточные системы водоснабжения предприятий; сегодня в большинстве стран прямоточное водоснабжение просто немыслимо. Если, положим, всё та же ТЭС 5 млн. кВт стоит на берегу реки с дебитом  $140 \text{ м}^3/\text{с}$  (это средняя река; напомним, что дебит реки Урал составляет  $360 \text{ м}^3/\text{с}$ , Днестра –  $340 \text{ м}^3/\text{с}$ , Эльбы (Лабы) –  $690 \text{ м}^3/\text{с}$ ), то при прямоточной системе водоснабжения ТЭС водозабор составляет  $140 \text{ м}^3/\text{с}$ , и вся вода реки должна прокачиваться через теплообменники ТЭС. То есть весь водоток реки превратится в стоки, а русло между водозабором и водосбросом будет осушено. В то же время при утвердившейся сегодня оборотной системе водоснабжения для целей конденсации пара в конденсаторе должен производиться забор свежей воды  $\sim 7 \text{ м}^3/\text{с}$ , а сброс сточной воды составит  $4,2 \text{ м}^3/\text{с}$  - с учётом безвозвратных потерь в 2% от валового водопотребления -  $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$ . То есть прогресс в уменьшении доли стоков в валовом водопотреблении большой энергетики очевиден. Следующий шаг в направлении уменьшения стоков в энергетике – использование воздушно-конденсационных установок Геллера.

Что касается замасленных и замазученных вод и вод обмывок поверхностей нагрева, то здесь формируются высокоэффективные локальные замкнутые системы, в которых очищенные и охлаждённые до приемлемого уровня сточные воды будут снова направляться на охлаждение масла и газа, подшипников, на обмывку поверхностей нагрева и др.

В части уменьшения стоков химпромывок и консервации оборудования стратегическим для энергетики остаётся вопрос разработки материалов для внутренних поверхностей элементов пароводяного цикла, способных противостоять коррозии и связанному с ней образованию отложений. Решение этого вопроса приведёт к исключению данных стоков вообще. Это – вопрос совершенствования технологии энергетического производства, направленного на исключение самих причин воз-

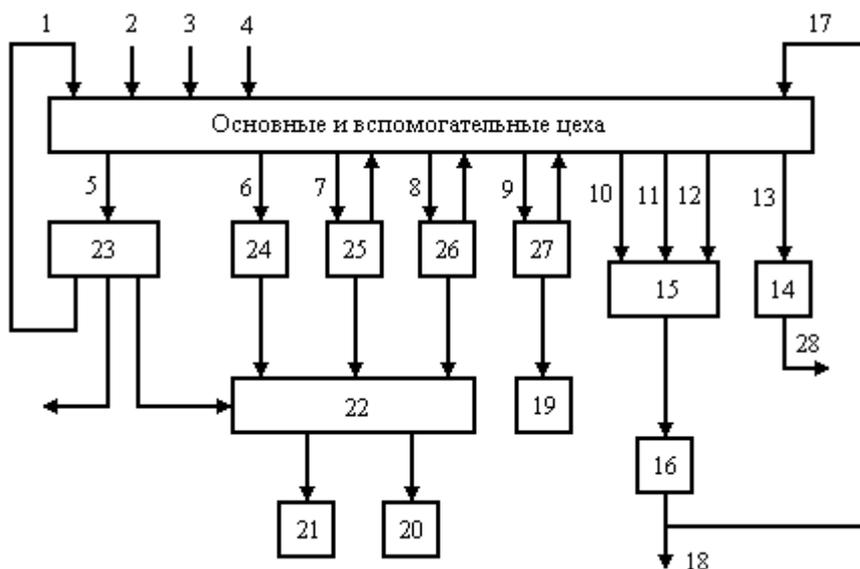
никновения стоков химических промывок и консервации оборудования пароводяного цикла, являющийся одной из компонент общей проблематики создания малоотходных технологий.

Такие же тенденции – развитие оборотного водоснабжения и уменьшение объёма сточных вод – наблюдаются в других отраслях индустрии. Так, в машиностроении в большом числе случаев используют оборотные системы водоснабжения отдельных цехов и участков, стоки которых стабильны по составу. Используются также двухступенчатые схемы очистки, при которых в локальных очистных сооружениях сточные воды предварительно очищаются от специфических (для данных цехов, участков) примесей, а доочистка от других примесей осуществляется на общезаводских очистных сооружениях. Выбор схем очистки стоков и, соответственно, схем оборотного водоснабжения определяется типом и мощностью предприятия, степенью “безотходности” используемых технологий, характеристиками источников водоснабжения.

На рисунке 5.10 представлена схема типичной оборотной системы водоснабжения крупного машиностроительного предприятия.

В основные и вспомогательные цехи поступает питьевая 2, техническая 3, техническая деминерализованная 4 вода и сточные воды 1 и 17. Состав сточных вод: маслосодержащие 5 – 60,6 %; с преобладающим содержанием твёрдых примесей 9 – 23,7 %; концентрированные маслосодержащие сточные воды, в том числе: отработанные моющие и обезжиривающие растворы 8 и отработанные смазочно-охлаждающие жидкости 6 – 1,6 %; стоки окрасочных камер 7 – 1,2 %; стоки с преобладающим содержанием растворимых примесей, в том числе: цианосодержащие 10, кислотнo-щелочные 11, никельсодержащие 12 и хромосодержащие 13 – 12,8 %. Маслосодержащие стоки очищают в очистных сооружениях 23 и очищенные воды 1 возвращают в технологический процесс; отделённые маслопродукты идут в сборник 22, откуда часть поступает на установку 20 регенерации масел, остальные – на термическую утилизацию 21. На очистные сооружения одновременно поступают и предварительно очищенные в установке 24 отработанные смазочно-охлаждающие жидкости 6. В очистных сооружениях 25-27 производится очистка соответственно стоков окрасочных камер 7, отработанных моющих и обезжиривающих растворов 8 и стоков с преобладанием твёрдых частиц 9, которые после очистки вновь используются в технологическом процессе, а выделенные масла и твёрдые частицы направляют в сборник маслопродуктов 22 и шламоборник 19. Цианосодержащие 10, кислотнo-щелочные 11 и никельсодержащие 12 сточные воды после нейтрализации в нейтрализаторе 15 направляют в очистные сооружения 16, из которых очищенную сточную воду вновь подают в

технологический процесс или сбрасывают в водоём по трубопроводу 18. Хромосодержащие сточные воды 13 после выделения из них хрома в очистных сооружениях 14 направляют через трубопровод 28 для дальнейшей очистки на городскую станцию очистки стоков.



нейшей очистки на городскую станцию очистки стоков.

*Рис. 5.10. Схема оборотного водоснабжения машиностроительного предприятия*

Как следует из рисунка 2.10, данная схема оборотного водоснабжения

одноступенчатая, кроме той её части, которая относится к очистке хромосодержащих стоков: последняя имеет две ступени, правда, вторая ступень – не общезаводские (их нет), но коммунальные очистные сооружения. И ещё: рассматриваемая система водоснабжения, можно сказать, малосточная, так как за пределы предприятия передаются только сточные воды 13, очищенные от хрома. Думается, что по мере ужесточения тарифов на водопотребление предприятие найдёт возможным доочистить эти стоки собственными силами и направить очищенную воду повторно в технологический процесс. В последующем предприятие, скорее всего, будет воздерживаться и от сброса в водоём очищенных вод после очистных сооружений 16. Этот сброс и, соответственно, забор свежей воды могут стать гораздо дороже доочистки (если доочистка требуется) и повторного использования данных сточных вод. Если это осуществится (прекращение сбросов 18 и 28), то рассмотренная обратная система водоснабжения станет фактически идеальной, бессточной. Тогда на повестку дня встанет другой вопрос: как сократить потери воды в технологическом процессе и тем самым минимизировать забор всё более дорожающей свежей воды.

На рисунке 5.11 приведена также схема локального оборотного и бессточного водоснабжения окрасочных камер (поз. 25 на рисунке 5.10).

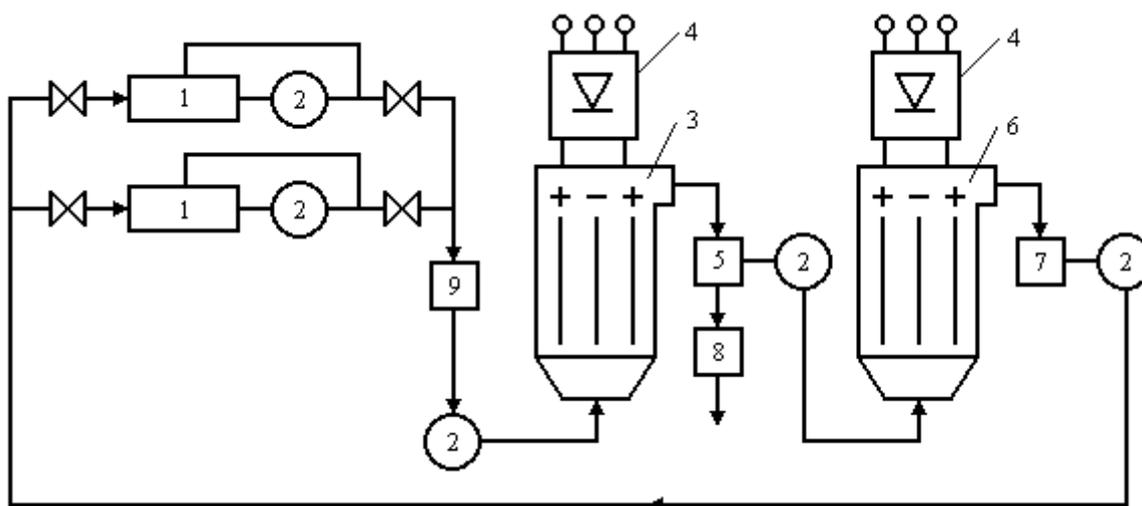


Рис. 5.11. Схема локального оборотного и бессточного водоснабжения окрасочных камер

Сточные воды из окрасочных ванн 1 поступают в ёмкость 9 и насосом 2 подаются в электрокоагулятор 3 с растворимыми алюминиевыми электродами, питающимся от выпрямителя 4. В электрокоагуляторе образующиеся хлопья гидроксида алюминия поглощают частицы краски и твёрдые частицы, в отстойнике 5 указанные хлопьеобразные образования оседают и подаются в шламонакопитель 8. Очищенная сточная вода насосом 2 подаётся в электрокоагулятор 6 с нерастворимыми алюминиевыми электродами, в котором при протекании тока вода обеззараживается и направляется в накопитель 7, а затем - в окрасочные ванны для повторного использования.

## Глава 6. Уменьшение загрязнения окружающей среды твердыми отходами. Принципы защиты окружающей среды от энергетических воздействий

Всё то, что человек добывает, производит, выращивает, потребляет, в конце концов, превращается в отходы. Часть из них удаляется вместе со сточными водами, другая часть в виде газов, паров и пыли попадает в атмосферу, но большая часть выбрасывается в виде твёрдых отходов. Каждый житель планеты «производит» ежедневно до 1,5 кг мусора.

Гора твёрдых бытовых отходов (ТБО) растёт с каждым днём – за год у нас в стране их собирается более 30 млн. тонн. Объём бытового мусора в США составляет 180 – 200 млн. т в год, для уборки мусора

ежедневно требуются многие десятки тысяч мусоровозов. Объём бытовых отходов в расчёте на одного человека увеличивается примерно на 1...4 %, а по массе – на 0,2...0,4 % в год. В состав ТБО (мусора) входят зола, шлак, бумага, пластмасса, пищевые отходы, металл, стекло и пр. Ещё более разнообразны составляющие промышленных отходов: древесина, бумага, текстиль, кожа, резина, гипс, соли, шлаки, зола, формовочная земля, металл, отходы животного происхождения, строительный мусор. В России ежегодно производится 180...200 млн. тонн промышленных отходов (без учета отвальных и шахтных пород с массой 4200 млн. тонн), в США, для сравнения – более 600 млн. тонн. Все твердые отходы утилизируются всего на 10...20 %.

Как утверждают специалисты, к концу двадцатого века в России накопилось до 100 миллиардов тонн только твёрдых отходов и ежегодно к ним добавляется ещё по 4 миллиарда тонн.

## **6.1. Классификация твёрдых отходов и их транспортировка**

Итак, из краткого вступления к главе 6, следует, что отходы, прежде всего, делятся на бытовые и промышленные. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует общая научная классификация твёрдых промышленных отходов, охватывающая всё их разнообразие по тем или иным признакам. Существующие классификации твёрдых отходов весьма многообразны и в большинстве своём односторонни. Так, твёрдые отходы классифицируют по отраслям промышленности, по конкретным производствам, по тоннажности, степени использования, способности к возгоранию, коррозионному воздействию на оборудование и т.п. С точки зрения воздействия на окружающую среду, на наш взгляд, наибольший интерес представляет классификация отходов по токсичности, приведённая в «Методических рекомендациях по определению класса токсичности промышленных отходов».

Поскольку твёрдые отходы размещают на почве (свалки, полигоны и т.п.) или производят захоронение в почву, важное значение имеют нормативы предельно допустимых количеств (концентраций) токсичных веществ в почве (ПДК<sub>п</sub>). ПДК<sub>п</sub> – предельно допустимые количества химического вещества в пахотном слое почвы, мг/кг. Это количество не должно вызывать прямого или отрицательного косвенного влияния на соприкасающуюся с почвой среду и здоровье человека, а также на способность почвы к самоочищению. Выделяют четыре класса токсичности отходов: I – чрезвычайно опасные, II – высокоопасные, III – умеренно опасные и IV – малоопасные.

Основой для отнесения отходов к определённому классу токсичности является индекс токсичности  $K_i$ , определяемый по выражению:

$$K_i = \frac{ПДК_i}{(S + C_B)_i},$$

где ПДК<sub>*i*</sub> – предельно допустимая концентрация химического вещества, содержащегося в почве, мг/кг; S – безразмерный коэффициент, характеризующий растворимость веществ в воде; C<sub>B</sub> – содержание данного компонента в общей массе отходов, т/т (в долях единицы ≤ 1,0); *i* – порядковый номер данного компонента.

Рассчитав  $K_i$  для отдельных компонентов отхода, выбирают от 1 до *n* ведущих компонентов, имеющих минимальное значение  $K_i$ . Суммарный индекс токсичности (опасности)  $K_{\Sigma}$  определяют по формуле:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n K_i,$$

где  $n \leq 3$ . После чего устанавливают класс токсичности с помощью таблицы 6.1.

Таблица 6.1

*Зависимость степени опасности промышленных отходов от суммарного индекса токсичности*

$K_{\Sigma}$	Класс токсичности (опасности)	Степень опасности
< 2	I	Чрезвычайно опасные
2,0 ... 16	II	Высоко опасные
16,1 ... 30	III	Умеренно опасные
> 30	IV	Малоопасные

Вывоз промышленных отходов производится самими предприятиями в специальные места захоронения или на общие свалки, куда вывозятся твёрдые бытовые отходы из городов.

Основные способы сбора бытовых отходов:

- по мусоропроводам отходы собираются в мусороприёмные камеры и далее перегружаются в мусоровозы;
- отходы собираются в специальные контейнеры, затем перегружаются в мусоровозы;
- отходы собираются непосредственно в мусоровозы, которые приезжают в установленное время. Перечисленные методы несовершенны и негигиеничны, так как мусороприёмные камеры и контейнеры являются источником неприятных запахов и рассадником насекомых и грызунов;
- применение пневматического транспорта для удаления мусора из мусоропроводов по горизонтальным подземным каналам до станции, об-

служивающей несколько зданий или целый микрорайон. На этих станциях после прессования мусор перегружается в мусоровозы;

– сплав в канализацию дробленых отходов из квартир, гостиниц, ресторанов и других объектов. С этой целью у раковин устанавливаются механические дробилки, из которых измельчённый мусор вместе со сточной водой удаляется в канализацию, где он обезвреживается в очистных сооружениях;

– системы удаления отходов, в которых его пневматическая транспортировка сочетается с дроблением и сплавом в канализацию.

Примеры промышленных и бытовых отходов, относящихся к различным классам опасности, приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

*Классы опасности некоторых отходов*

<b>Вид отходов</b>	<b>Класс опасности</b>
1 Лампы люминесцентные и накаливания	1
2 Щелочь	2
3 Аккумуляторы отработанные	2
4 Трупы животных, птиц	3
5 Масла отработанные	3
6 Клеи, мастики, смолы	3
7 Ветошь промасленная	3
8 Пищевые, кормовые, мякина, зерновая пыль	4
9 Древесные	4
10 Бумага, картон	4
11 Лом черных и цветных металлов	4
12 Автошины, резина	4
13 Твердые бытовые	4
14 Строительные	4

## **6.2. Полигоны для твёрдых отходов**

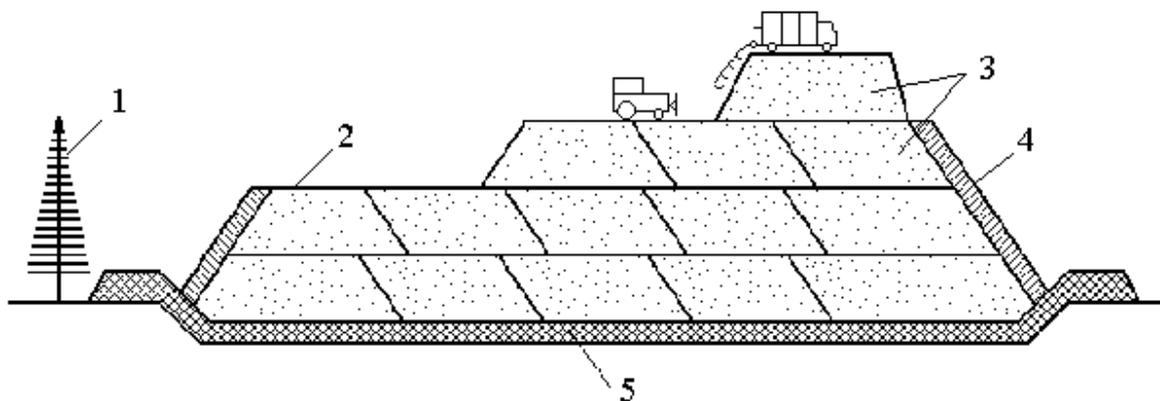
В подавляющем большинстве случаев твёрдые отходы удаляются вывозным путём в основном на неконтролируемые свалки – специально отведённые в пригородах отгороженные участки. Отходы на них разлагаются, часто загораются, в результате загрязняется воздушная среда, часто токсичными веществами. Кроме того, вредные вещества могут вымываться дождевыми, талыми, поверхностными и грунтовыми водами и загрязнять водоёмы и подземные воды.

В качестве альтернативы используются полигоны для твёрдых отходов. Для такого полигона выбирают место, по возможности, в глинистом грунте, в котором можно складировать отходы в течение 20...25 и более лет. Основание выбранной площади делают в виде огромного ко-

рыта глубиной примерно 1,5 м. При невозможности выбрать место в глинистом грунте водоупорное основание создаётся искусственно, причём на уплотнённый слой глины толщиной 0,5 м иногда наносится слой щебня, что облегчает отвод фильтрата и метана. Фильтрат, остающийся в пределах полигона, не загрязняет водоёмы и подземные воды. В случае большого количества осадков фильтрат откачивают со дна корыта насосами и разбрызгивают по поверхности укладываемых отходов. Одна часть фильтрата испаряется, другая проникает внутрь, где вызывает медленный биотермический процесс с повышением температуры до 30°C. До дна, таким образом, доходит не более 5 % жидкости.

В течение суток вывозят отходы на одну площадку полигона и уплотняют бульдозерами послойно до 2-х метровой высоты. На следующие сутки отходы вывозят на другую площадку, а предыдущую укрывают изолирующим слоем грунта толщиной 0,25 м. Изоляция грунтом и его последующее уплотнение препятствует загрязнению воздушной среды и распространению грызунов и насекомых.

Для сокращения площади полигон загружают многослойно (рисунок 6.1). Конструктивные схемы допускают высоту 60 м. После заполнения полигона поверхность его покрывают растительным грунтом. Полигон окружается скважинами, с помощью которых ведётся мониторинг загрязнения грунтовых вод.



*Рис. 6.1. Схематичный разрез полигона для твердых отходов  
1 – лесозащитные полосы (зеленая зона); 2 – промежуточный изолирующий слой; 3 – отходы; 4 – укрывающий наружный слой растительного грунта;  
5 – естественное или искусственное водоупорное основание (глина)*

Полигоны могут иметь различные соотношения длины и ширины. Площадь их зависит от численности жителей города и высоты складирования.

Для размещения полигонов твёрдых отходов можно использовать

овраги и другие неудобные земли. После полной загрузки полигона и закрытия его растительным грунтом поверхность последнего можно использовать для устройства парков, садов, игровых площадок и т.п.

В закрытых от соприкосновения с воздухом бытовых и пищевых промышленных отходах, находящихся в насыпях полигона, возникает анаэробный процесс, при котором выделяется биогаз (смесь метана и углекислого газа), который можно использовать как топливо.

Рассмотренные полигоны твёрдых отходов предназначены в основном для бытовых отходов. Однако исследованиями установлено, что часть промышленных отходов может быть принята на полигоны твёрдых бытовых отходов – это инертные, биологически окисляемые, легко разлагающиеся органические вещества, слаботоксичные, малорастворимые в воде (всего более 10 тысяч видов). Промышленные отходы используются, как правило, для устройства слоёв промежуточной изоляции.

В части собственно промышленных отходов важнейшим является вопрос о защите окружающей среды от действия токсичных отходов.

Главным направлением в устранении вредного воздействия на окружающую среду токсичных промышленных отходов является их использование в производственных циклах, т.е. организация малоотходных производств. В ряде случаев для нейтрализации токсичных промышленных отходов устраиваются специальные сооружения.

Эти сооружения могут быть в ведении предприятия, создающего токсичные отходы. Часто эти сооружения располагаются на территории предприятия.

Токсичные промышленные отходы могут складироваться, перерабатываться и нейтрализоваться централизованно на полигонах и станциях переработки и нейтрализации. Существуют два вида специальных полигонов: для обезвреживания одного вида отходов захоронением или химическим способом, либо комплексные – для обезвреживания различных видов отходов. Территорию комплексных полигонов разделяют на зоны: приёма и захоронения твёрдых негорючих отходов; приёма и захоронения жидких химических отходов и осадков сточных вод, не подлежащих утилизации; захоронения особо вредных отходов; огневого уничтожения горючих отходов. На территориях полигонов и за их пределами ведётся контроль состояния поверхностных и грунтовых вод, а также чистоты воздушной среды.

Захоронения промышленных отходов производят в котлованах глубиной до 10...12 м в специальной таре, например, в железобетонных резервуарах. Котлованы располагают в водонепроницаемых грунтах.

Радиоактивные отходы собираются в местах их образования от-

дельно от других отходов в специальные сборники, внутренние поверхности которых изготавливаются из гладкого мало сорбирующего материала. Транспортировка к местам захоронения производится на специально оборудованных автомашинах. Автомашины и сменные сборники после каждого рейса должны дезактивироваться.

Проблема обезвреживания и захоронения радиоактивных отходов – одна из наиболее жгучих проблем атомной энергетики.

Рассмотрим вопрос, связанный с захоронением радиоактивных отходов. Отходы образуются на всех стадиях ЯТЦ: добычи, переработки сырья, изготовлении тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). Кроме того, радиоактивные изотопы применяются в медицине, биологии, промышленности. В силу высокой концентрации энергии в ядерном топливе, количество образуемых отходов, по сравнению с другими отраслями, сравнительно невелико, но, тем не менее, проблем здесь довольно много.

Сама технология выделения отходов, их концентрирование, пресование, заключение в цементные, битумные или стеклянные блоки – это целая отрасль атомной промышленности. Ещё более сложной и дорогостоящей является технология сжигания. Отходящие дымовые газы очищаются методами адсорбции и фильтрации, а зола, загрязнённая радионуклидами, подвергается цементированию, битумированию или остекловыванию.

Главный вклад вносят, конечно, атомные электростанции. Особое место занимают отработавшие рабочие каналы – ТВЭЛы, которые содержат высокоактивные осколки деления, а также недовыгоревший уран и накопившийся плутоний. Они представляют собой наиболее активный тип отходов, а потому требуют к себе особого отношения. Сегодня тепловыделяющие элементы подвергают захоронению, чаще всего прямо на территории АЭС. Хранят их в водной среде на достаточно большом удалении друг от друга. Таким образом, достигаются две цели: отводится тепло, выделяющееся при продолжающемся радиоактивном распаде, и исключается возникновение критического ансамбля, способного привести к взрыву.

Ещё одна технология захоронения. Рабочий канал освобождают от конструктивных элементов, не имеющих столь высокой активности, как ядерное горючее: от кожухов, крышек, колпаков и пр. Остаются только ТВЭЛы. Чтобы они занимали меньше места, их, например, скручивают в жгуты, помещают в медный контейнер, заливают свинцом, закрывают крышкой и заваривают. Медь слабо подвергается коррозии, поэтому контейнер может простоять без изменений сотни и даже тысячи лет. Правда, в металле могут со временем образоваться свищи и герметич-

ность может нарушиться. Хранят эти контейнеры на дне океана, в глубинных геологических формациях, в соляных шахтах. Соль обладает пластической текучестью. Под действием теплоты, выделяемой радиоактивными отходами, соль оплавляет контейнер, что является дополнительной защитой. Выбором места захоронения проблема не ограничивается, поскольку захоронение – инженерное сооружение, требующее наличия систем контроля, вентиляции, оснащения инженерно-техническими коммуникациями и т.д.

В целом, вопрос, где хранить отходы, которые в течение многих тысячелетий будут радиоактивными, пока далёк от решения.

## **6.3. Переработка и утилизация твёрдых отходов**

### **6.3.1. Переработка твёрдых отходов на компост**

Более совершенным приёмом обезвреживания и использования твёрдых отходов является их переработка на компост. Компостирование заключается в естественном биологическом разложении органического вещества в присутствии воздуха. Конечный продукт – гумусоподобное вещество, которое можно использовать как органическое удобрение. Поскольку бытовые отходы на 60-80 % состоят из органики (бумага, пищевые отбросы), их также можно компостировать. В настоящее время применяются два способа компостирования: полевые и переработка на специальных заводах.

При полевом компостировании мусор выдерживается во влажном, но хорошо аэрируемом состоянии, что ведёт к разложению органического мусора до гумусоподобной массы. Ряды мусора разрыхляются и переворачиваются специальной машиной для ускорения компостирования.

В заводских условиях происходит непрерывный процесс компостирования с аэробным окислением во вращающемся наклонном барабане. Из приёмного бункера мусор с помощью дозирующего устройства подаётся ровным слоем на транспортёр, откуда магнитом и вручную из него извлекается металлический лом. Далее масса поступает во вращающиеся барабаны, сделанные на основе обжиговых цементных печей, в которых и происходит процесс переработки мусора в компост. Барабан заполняется массой на 2/3 объёма, специальным вентилятором в него подаётся воздух. Отходы находятся в барабане трое суток, за это время он делает до 2000 оборотов. Процесс происходит с выделением тепла, из-за чего компостируемая масса обезвреживается. После дополнительной сепарации металла масса попадает на специальное устрой-

во (грохот), где происходит отделение не компостируемых отходов: резины, кожи, текстиля, цветных металлов, полимерных материалов. В процессе окисления отходов в барабане происходит выделение газообразных продуктов распада и дурнопахнущих веществ, которые отводятся в топку котельной.

Компостируемый материал поступает в измельчитель, размер частиц доводится до 25 мм, стекла – до 3 мм. В таком виде компост можно использовать в сельском хозяйстве. В нём (в расчёте на сухое вещество) содержится около 1 % азота и по 0,3 % фосфора и калия, а также необходимые для подкормки растений микроэлементы.

Некомпостируемые отходы поступают в печь пиролиза, в которой без доступа воздуха происходит их термическое разложение. В результате получается смола, газ и твёрдый углеродистый остаток – пирокарбон. Газ и смола используются в качестве энергетического топлива, а пирокарбон – в металлургической промышленности.

### **6.3.2. Рециклизация**

Даже при достаточных площадях, отводимых под новые полигоны, сама их система неустойчива. В итоге человечество может получить покрытый «пирамидами» отходов ландшафт и сотни тысяч людей, обслуживающих полигоны.

Выходом из положения может стать вторичная переработка отходов – рециклизация. Существует множество способов вторичной переработки различных типов отходов. Назовём наиболее широко применяемые технологии:

- макулатуру измельчают в бумажную массу, из которой изготавливают различную бумажную продукцию;
- стекло дробят, плавят и делают из него новую тару или дробят и используют вместо гравия или песка при производстве бетона и асфальта;
- пластмассу переплавляют и изготавливают из неё «синтетическую древесину», устойчивую к биодеградации и обладающую громадным потенциалом, как материал для различных ограждений, настилов, столбов, перил и других сооружений под открытым небом;
- металлы плавят и перерабатывают в различные детали – это позволяет экономить до 90 % электроэнергии, необходимой для выплавления металлов из руды;
- пищевые отходы и садовый мусор компостируют с получением органического удобрения;

- текстиль измельчают и используют для придания прочности макулатурной бумажной продукции;
- старые покрышки переплавляют с изготовлением новых резиновых изделий.

Кроме перечисленных имеются сотни других промышленных методов переработки отходов.

### **6.3.3. Обработка осадка сточных вод**

Практически от 30 до 50 % присутствующего в канализационных стоках органического вещества входит в ил-сырец, оседающий в отстойниках и на других стадиях очистки. Он представляет собой густую, чёрную, зловонную массу, состоящую примерно на 98 % из воды и на 2 % из органики, включающей множество патогенных организмов. После соответствующей обработки из него можно получить гумус и использовать его как удобрение.

Обработка ила основана на питании им бактерий и других детритофагов. Это может происходить двумя способами:

- в отсутствие воздуха – анаэробное сбраживание.
- в присутствии воздуха – компостирование.

*Анаэробное сбраживание.*

Ил-сырец помещают в крупные герметичные баки. В отсутствие кислорода бактерии питаются илом (анаэробное сбраживание), в качестве побочного продукта вырабатывая биогаз. Он содержит углекислый газ и вещества, придающие стокам дурной запах, но практически на 60 % состоит из метана. Последнее обстоятельство даёт возможность использовать биогаз как топливо. На практике его используют для нагревания самих баков с целью поддержания в них оптимальной для организмов температуры около 38°C.

Сбраживание завершается через 4...6 недель и в баках остаётся обработанный ил – водный раствор гумуса. Этим раствором можно удобрять сельскохозяйственные поля и газоны прямо в жидком виде, так как полезны и гумус, и богатая биогенами вода. Обработанный ил можно отфильтровать и получить полутвёрдый гумусовый кек, правда, вместе с отфильтрованной водой пропадает основная часть биогенов, что снижает питательную ценность кека.

*Компостирование.*

Для компостирования ил-сырец отфильтровывают, смешивают с древесной стружкой или другим материалом для улучшения аэрации и складывают в кучи или компостные ряды. Аэрацию повышают, дополнительно подавая воздух или перемешивая механически. В компостных кучах бактерии и другие редуценты, и детритофаги перерабатывают ор-

ганику в гумусоподобную массу. Тепла, выделяемого при дыхании, оказывается достаточно для гибели патогенных организмов. После шести или восьми недель компостирования от древесной стружки отделяют гумус, готовый для применения на полях.

В последние годы всё большее развитие получает совместное компостирование твёрдых бытовых отходов и осадка сточных вод. Эта технология способствует насыщению компоста микрофлорой и микроэлементами и позволяет в оптимальном режиме поддерживать биотермический процесс. Он сопровождается нагреванием массы до 60...70°C. При этом гибнет большинство болезнетворных микроорганизмов, яйца гельминтов, личинки мух.

#### **6.3.4. Отходы как источник энергии**

Сжигание твёрдых отходов целесообразно в случае использования тепловой энергии и очистки уходящих газов. Этот процесс происходит на мусоросжигательных станциях, имеющих паровые котлы со специальными топками. Температура в топке должна быть не менее 1000°C для того, чтобы сгорали все дурнопахнущие примеси газов и не происходило бы зашлаковывания колосников. Перед выходом в дымовую трубу газы очищаются, например, с помощью электрических фильтров. Металлический лом отделяется от шлака электромагнитным сепаратором. Другие негорючие остатки требуют захоронения, но они составляют лишь 10...20 % от исходного объёма мусора.

#### **6.3.5. Безотходное и малоотходное производства**

Использование всех рассмотренных в этой главе способов уменьшения загрязнения окружающей среды не позволяет решить проблему в полной мере и сопряжено с ростом затрат на их реализацию. Альтернативой является внедрение безотходных и малоотходных производств.

Широко используемый термин «безотходное производство», например, «безотходная ТЭС», можно понимать так: реальная ТЭС, которая наряду с выработанной электрической и тепловой энергией из 100% отходов вырабатывает товарные продукты и тем самым снижает нагрузку на окружающую среду. Это невозможно так же, как нельзя всю подведенную в цикле двигателя тепловую энергию превратить в работу. Вместе с тем вся история теплоэнергетики была связана со стремлением приблизиться к безотходной ТЭС.

Если исключить из рассмотрения идеальные представления о ТЭС, то наибольший интерес должны представлять реальные ТЭС с высокими (наиболее высокими) экологическими показателями. Если минимальное негативное воздействие ТЭС на окружающую среду находится

в пределах «хозяйственной емкости биосферы», то такую ТЭС можно отнести к разряду экологически безопасных, или малоотходных. Здесь максимально используются технологии, минимизирующие образование вредных твердых, жидких, газообразных и тепловых отходов, оборотное водопользование, твердые отходы преобразуются в товарный продукт или в сырье для смежных производств, неиспользованные стоки и отходящие газы подвергаются глубокой очистке, оставшееся ограниченное количество твердых отходов поступает на длительное хранение.

Таким образом, методологически правильно определять подобное, экологически безопасное производство как малоотходное.

При малоотходном производстве воздействие на окружающую среду не превышает уровня, установленного санитарно-гигиеническими нормами. При этом по различным причинам (техническим, экономическим, организационным и др.) часть сырья и материалов может переходить в отходы и направляться на хранение или захоронение.

Малоотходная технология должна обеспечить:

- комплексную переработку сырья с использованием всех его компонентов;
- создание и выпуск новых видов продукции с учётом требований повторного её использования;
- переработку отходов производства и потребления с получением товарной продукции или любое полезное их использование без нарушения экологического равновесия;
- использование замкнутых систем промышленного водоснабжения;
- создание безотходных комплексов.

Развитие малоотходных производств можно разделить на следующие этапы:

1) малая ресурсоёмкость и незначительные выбросы в окружающую среду;

2) создание цикличности производств – отходы одних являются сырьём для других;

3) организация разумного захоронения неминуемых остатков и нейтрализация энергетических отходов.

Все этапы могут быть одновременными. В результате сокращаются экономические издержки производства, достигается комплексность использования сырья, и более эффективно решаются проблемы уменьшения загрязнения окружающей среды отходами.

## **6.4. Энергетические загрязнения и принципы их нормирования как главные компоненты комплекса мер по защите окружающей среды**

Одной из основополагающих компонент комплекса мер по защите окружающей среды от энергетических загрязнений является их нормирование, то есть установление того уровня энергетического загрязнения, превышение которого недопустимо при организации в данном месте нового производства (завод, ТЭС и т.п.) или реконструкции прежнего. Если при химическом загрязнении этим предельным уровнем является предельно допустимая концентрация, ПДК, то при энергетическом загрязнении введён предельно допустимый уровень, ПДУ, энергетического загрязнения. Его смысл соответствует смыслу ПДК. Как и в случае ПДК, ПДУ устанавливается отдельно для техносферы (для рабочей зоны) и для окружающей среды (населённой местности). Последний всегда меньше, чем ПДУ для рабочей зоны. В большом числе случаев это различие составляет 10 раз, что можно объяснить двумя обстоятельствами. Во-первых, в рабочей зоне, то есть на производстве, заняты, выражаясь эколого-биологическим языком, оформившиеся (физически и биологически) человеческие особи. Их устойчивость к воздействию вредных факторов (диапазон толерантности) выше, чем у другой части населения: детей, пожилых и престарелых людей, а также просто физически слабых людей. Во-вторых, в значительной мере это различие предопределено тем, что в большинстве случаев вредный фактор формируется именно в рабочей зоне, где он имеет максимальные значения; по мере распространения в окружающем пространстве он уменьшает свою интенсивность, так что вне производственной территории его интенсивность априорно меньше, чем в рабочей зоне. Получается, что в определённой степени это двойное нормирование лишь фиксирует объективное распределение интенсивности вредного фактора в пространстве (речь идёт о химическом, и энергетическом загрязнении).

Конечно, в глубинной основе сегодняшнего нормирования вредных экологических факторов лежат и экономические соображения. Читатель сейчас же согласится с тем, что лучше всего – сделать так, чтобы и концентрация вредных веществ, и интенсивность энергетических факторов были пренебрежимо малыми. Увы, в том-то и состоит обратная сторона "медали" технического прогресса и в этом-то и содержатся истоки Глобального экологического кризиса, что не всегда удаётся оформить технологию производства так, чтобы полностью исключить её вредные воздействия. Рынок, по большому счёту, в принципе антиэкологичен.

Рыночному производителю надо либо вкладывать большие средства в доводку технологии до устранения вредных воздействий, и тогда его “поезд может уйти”, либо он прорывается в рынок со своим товаром (услугой), неся за ним шлейф экологических издержек. Но этот шлейф экологических издержек (явно вредных, их по всем человеческим меркам надо устранять!) согласуется (!) с надзорно-контрольными экологическими органами на основе компромиссной концепции ПДК и ПДУ, и вот уже товар пошёл гулять по свету, внося свой вклад в тот планетарный феномен, который мы сегодня называем Глобальным экологическим кризисом.

В принципе, тем не менее, компромиссная концепция ПДК и ПДУ сегодня – реальный и действенный инструмент защиты окружающей среды. И он найдёт свое место в процессе реализации концепции устойчивого развития. Но свои конструктивные приложения он найдёт лишь в развитии. Направленность его развития: уровни ПДК и ПДУ должны снижаться. Жизнь, то есть практика реализации концепции устойчивого развития, подскажет, каким должен быть темп ужесточения экологических нормативов. Разумеется, он должен быть оптимальным: ни излишне быстрым, ни слишком медленным. Он будет таким, каким его определит Коллективный Разум мирового сообщества – с постоянным учётом темпа развития Глобального экологического кризиса.

Но, по-видимому, дело будет заключаться не только в постоянном ужесточении экологических нормативов в их сегодняшнем виде. Скорее всего, будет изменяться и философия (критерии) самих экологических нормативов, в частности, нормативов для энергетических загрязнений.

В соответствии с современными представлениями о взаимодействии энергетического фактора с организмом можно обозначить следующую логику определения (поиска) ПДУ. Например, применительно к акустическому (шумовому) фактору (Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. - Томск: изд. ТГУ, 1990. – 188 с.).

Пройдя длительный эволюционный процесс, человек адаптировался к реальному спектру акустических воздействий. В ходе эволюции оказалось нецелесообразным для слухового аппарата человека регистрировать звуковые сигналы с плотностью потока энергии акустических колебаний воздушной среды, меньшей чем  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (зона превентивного торможения) [24]: по-видимому все явления окружающего мира, сопровождаемые эмиссией звуковых сигналов с плотностью потока энергии, меньшей, чем  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (пороговая чувствительность), не играли значимой роли в жизнедеятельности наших доисторических предков и поэтому инстинктивно “обрезались”.

Более энергоёмкие сигналы несли более значимую информацию, в итоге наш слуховой аппарат воспринимает звуковые сигналы в чрезвычайно широком диапазоне плотностей потока энергии, который образует информационную зону. Все звуки в этой зоне помогали доисторическому человеку (и помогают нам) ориентироваться в окружающем мире. Правая (верхняя) граница этого диапазона плотностей потока звуковой энергии, и более высокие её значения, по-видимому, соответствовали тем реальным звуковым сигналам, которые также реально не несли значимую информацию (иначе слуховой аппарат приспособился бы к ним). Эта область энергосодержаний звуковых волн – зона запредельного торможения, поскольку эти сигналы специфически восприниматься не могут, так как нарушают нормальную саморегуляцию организма, и последний вынужден защищаться от их действия охранительным торможением.

В качестве верхней границы информационной зоны естественно принять величину, сопоставимую с энергией основного обмена организма, пересчитанную на эквивалент плотности потока энергии [24]. Энергия основного обмена, практически одинаковая для всех теплокровных животных, составляет 1000 кал/м<sup>2</sup> в сутки (постоянная Рутберга), или 5·10<sup>-2</sup> Вт/м<sup>2</sup>. Если выразить эту величину в децибелах по отношению к порогу чувствительности

$$L = 10Lg \frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^{-12}} \cong 107 \text{ дБ} , \quad (6.1)$$

то получим усреднённый уровень звукового давления на верхней границе информационной зоны. Она соответствует энергии основного обмена в состоянии организма между покоем и интенсивной мышечной работой. В последнем случае энергия основного обмена может возрасти в 5–8 раз [24], то есть примерно на порядок величины. Для этого случая  $L = 117 \text{ дБ} \cong 120 \text{ дБ}$ . Соответственно, для состояния покоя  $L \cong 100 \text{ дБ}$ . Одновременно это нижняя граница зоны запредельного торможения, или зоны энергетического воздействия.

Таким образом, величина энергии основного обмена, точнее спектр величин этой энергии, соответствующий спектру состояний организма между покоем и интенсивной мышечной работой (в децибелах этот спектр выражается как 100…120 дБ), может рассматриваться как исходная величина при установлении теоретических ПДУ энергетических загрязнений (воздействий). Причём это может быть отнесено к каждому энергетическому воздействию: в ходе эволюции организмы адаптировались ко всем энергетическим воздействиям, по каждому из них организмы имеют информационную зону и, соответственно, верхнюю гра-

ницу этой зоны, сопоставимую с энергией основного обмена. Естественно поэтому в качестве некоторого приближения ПДУ того или иного энергетического воздействия рассматривать его параметры, соответствующие энергетике основного обмена.

Приведённая логика установления ПДУ энергетических загрязнений – один из вариантов подхода, в основу которого кладётся идея о существовании некоторого энергетического порога подобных воздействий, при превышении которого биосистемы претерпевают необратимые изменения, ведущие к ущербу их жизнедеятельности. Речь идёт об изменениях на разных уровнях: на организменно-надорганизменном уровне – изменения (реакции) поведенческие, роста, развития; на клеточно-субклеточном уровне – реакции обмена, роста, развития.

Разумеется, вопрос о ПДУ энергетических воздействиях весьма сложен, как сложно всё, что связано с жизнедеятельностью организмов. В сущности, работы по эколого-гигиеническому нормированию энергетических воздействий на биосферу представляют собой фрагмент общего фронта исследований взаимодействия физических полей с живым веществом. Однозначных решений в части ПДУ в настоящее время не существует. Можно сказать, что в результате исследований в этой области сформировалась определённая методология, позволяющая практике экологического нормирования (а таковая есть в каждой стране, так как всесторонние экологические нормативы являются насущной потребностью общества развиваться в рамках современных научных представлений в данной области).

## **Глава 7. Контроль и управление качеством окружающей среды**

### **7.1. Экологический мониторинг**

Для разумного управления охраной окружающей природной среды необходимы:

- 1) наблюдение за состоянием окружающей среды;
- 2) оценка состояния окружающей среды;
- 3) прогноз возможных изменений в окружающей среде.

Перечисленные компоненты составляют систему мониторинга окружающей среды. Экологический мониторинг - система наблюдений за изменениями состояния среды, вызванными антропогенными причинами, позволяющая прогнозировать развитие этих изменений. Объектами мониторинга являются природные, антропогенные или природно-

антропогенные экосистемы.

Экологический мониторинг представляет собой организованную систему наблюдений, включающую звенья разного уровня:

1) Глобальный (биосферный) мониторинг, осуществляемый на основе международного сотрудничества.

Биосферный мониторинг осуществляется в рамках глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) на базе международных биосферных станций, восемь из которых располагаются в России.

Для проведения исследований в рамках ГСМОС используется авиационная, космическая и вычислительная техника. Аэрокосмические методы применяются для инвентаризации и картографирования природных ресурсов, наблюдения за сезонными и многолетними изменениями природной среды, слежения за её составом и состоянием, а также за последствиями воздействия хозяйственной деятельности человека. Авиационные методы позволяют, например, подсчитывать численность некоторых видов животных в период миграций или скоплений.

2) Национальный мониторинг осуществляется в пределах государства специально созданными органами – службами Минздрава РФ, Министерства природных ресурсов РФ, Росгидромета и т.д.

3) Региональный мониторинг осуществляется в пределах крупных районов, интенсивно осваиваемых народным хозяйством, например, в пределах геосистем, территориально-производственных комплексов. (Западно-Сибирский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды).

4) Локальный (биоэкологический) мониторинг включает слежение за изменениями качества среды в пределах населённых пунктов, промышленных центров, непосредственно на предприятиях.

Примером локального мониторинга является постоянная система наблюдения и контроля загрязнения воздуха в городах, на транспортных магистралях, осуществляемая при помощи стационарных, передвижных или подфакельных постов.

К локальному мониторингу относится и деятельность санитарно-промышленных лабораторий на предприятиях. В задачи этих лабораторий входят, в частности, постоянные наблюдения за загрязнением воздуха в цехах и на промышленных производствах, воды в установленных створах водных объектов.

Так, например, инструментальный контроль за загрязнением атмосферного воздуха в Томске проводится на 6 стационарных наблюдательных пунктах Томского центра гидрометеорологической службы и 2 пунктах санэпиднадзора. На 80 предприятиях ведётся мониторинг основных источников загрязнения атмосферы тремя специализирован-

ными инспекциями государственного экологического контроля, 10 предприятий ведут ведомственный мониторинг.

## **7.2. Экологический контроль состояния окружающей среды**

Организация контроля состояния окружающей среды в регионах возложена на местные природоохранные органы по следующим направлениям: недропользование, земельные ресурсы, водные объекты, атмосферный воздух, лесные ресурсы, животный мир, рыбные ресурсы, отходы производства и потребления.

По результатам контроля к нарушителям природоохранного законодательства применяются меры административного воздействия с наложением штрафов и исков, возбуждаются уголовные дела, приостанавливается хозяйственная деятельность объектов.

В РФ, также как и практически во всех странах с развитой рыночной экономикой, законодательно установлены формы статистической отчётности о разнообразных видах деятельности предприятий и организаций. В России в соответствии с постановлениями Госкомстата с 1993 г. утверждены следующие формы государственной статистической отчётности по охране окружающей среды:

- 2-тп (воздух) «Отчёт об охране атмосферного воздуха»;
- 2-тп (воздух) «Отчёт об использовании воды»;
- 2-тп (рекультивация) «Отчёт о рекультивации нарушенных земель»;
- 2-тп (токсичные отходы) «Отчёт об образовании и удалении токсичных отходов»;
- 3-ос «Отчёт о ходе строительства водоохлаждаемых объектов и прекращении сброса загрязнённых сточных вод»;
- 4-ос «Отчёт о текущих затратах на охрану природы и экологических платежах».

Всякая отчётность требует контроля соответствия её реальности и действующему законодательству. В настоящее время быстроразвивающимся направлением, призванным контролировать производственную практику и оценивать соответствие деятельности предприятий и организаций нормам природоохранного законодательства, является экологический аудит.

Итак, экологический аудит - это вид деятельности, заключающийся в анализе соответствия деятельности и отчётности предприятия действующему законодательству, нормативным требованиям, стандартам, внутренним программам и политике в области охраны окружающей среды.

Целью экологического аудита является совершенствование управ-

ления в области охраны окружающей среды, оценка и снижение риска, связанного с использованием сырья и материалов, оптимизация использования природных ресурсов, оценка соответствия деятельности предприятия действующим законодательным и нормативным документам, выработка первоочередных мер и долгосрочной политики в области решения экологических проблем.

Экологический аудит позволяет сформировать правильное представление о воздействии предприятия на окружающую среду, помогает улучшить отношения между природопользователями, контролируемые природоохранными органами, и населением, добиться экономии средств, собрать данные, которые помогут дирекции в принятии решений по модернизации производственных процессов и оборудования, позволяет оценить эффективность природоохранного мероприятия. Проведение экологического аудита возложено на территориальные природоохранные органы.

### **7.3. Экологическая паспортизация**

Характеристикой совершенства используемых технологий и рационального природопользования являются удельные показатели как расхода сырья, топлива и энергии, так и выбросов (сбросов) в окружающую среду загрязняющих веществ на единицу продукции.

Одним из направлений стабилизации и улучшения состояния окружающей природной среды является развитие системы экологической паспортизации производственных и иных объектов, являющихся источником загрязнения окружающей природной среды. Экологический паспорт предприятия – нормативно-технический документ, включающий данные по использованию предприятием ресурсов (природных, вторичных и др.) и определение влияния его производств на окружающую среду (ГОСТ 17.0.0.04-90).

Разработка экологического паспорта предприятия направлена на решение четырёх главных задач:

- 1) оценка экологичности производства с точки зрения рационального использования природных ресурсов, а именно расхода сырья, энергии и природных ресурсов, и выброса загрязняющих веществ на единицу продукции;
- 2) оценка негативного воздействия предприятия на окружающую среду в части определения валового количества выбросов, сбросов и твёрдых отходов за учётный период времени и объёма производства;

- 3) наличие и эффективность работы очистных сооружений и контроля за выполнением мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду;
- 4) управление взаимоотношениями «предприятие-окружающая природная среда» путём взимания с предприятия платежей за загрязнение.

Экологический паспорт разрабатывается предприятием за счёт его средств. Основные разделы экологического паспорта:

- комплексное воздействие предприятия на окружающую среду;
- эффективность использования предприятием сырьевых, топливных, энергетических, водных, земельных и других ресурсов;
- используемые на предприятии технологии;
- баланс потребляемого сырья и объём выпускаемой продукции;
- суммы платежей за природопользование.

Макет экологического паспорта предприятия строится на основе информации, содержащейся в двух блоках нормативных документов. В первый блок входят документы, лимитирующие загрязнения воздушной среды (ПДВ, разрешение на выброс загрязняющих веществ) и водной среды (ПДС, разрешение на сброс в промканализацию), разрешение на вывоз и захоронение твёрдых отходов. Они служат основой для инспекций, контролирующей природоохранную деятельность предприятий. Второй блок включает документы по вопросам рационального использования природных ресурсов. Это разрешения на водопользование, на землепользование, землеустройство, лесопользование и др.

Экологическая паспортизация, таким образом, показывает предприятиям состояние и эффективность проводимых на них природоохранных мероприятий, а с другой стороны, даёт природоохранным органам документ, в котором в концентрированном виде заложена информация о предприятии как источнике загрязнения окружающей природной среды для осуществления ими контрольных и инспекционных функций.

#### **7.4. Экологическая экспертиза**

Основная задача государственной экологической экспертизы заключается в предупреждении возможных неблагоприятных воздействий намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий её реализации.

Экологическая экспертиза включает общественную и государственную экспертизу.

Государственная экологическая экспертиза проводится экспертно-

ми подразделениями территориальных природоохранных органов.

Общественная экологическая экспертиза проводится общественными организациями (объединениями), основным направлением деятельности которых является охрана окружающей природной среды, в том числе проведение экологической экспертизы, и которые зарегистрированы в установленном порядке.

Экологическая экспертиза включает в себя сбор информации, её обобщение, рассмотрение материалов на комиссии, оценку материалов экспертизы и составление заключения.

Основные принципы экологической экспертизы сформулированы в Законе об охране окружающей природной среды. Государственная экологическая экспертиза должна строиться на обязательности, научной обоснованности, независимости и вневедомственности при широкой гласности и участии общественности. Эти принципы необходимо использовать в любой эколого-экспертной деятельности.

Субъектами государственной экологической экспертизы должны выступать:

- 1) заказчик, которым является государственная структура, наделённая правом назначать экспертизу;
- 2) подрядчик – исполнитель задания по экологической экспертизе;
- 3) потребитель – предприятие или организация, являющиеся собственником объекта, ставшего предметом экспертного анализа.

По результатам экологической экспертизы составляется экспертное заключение, включающее три части:

- 1) во вводной части содержатся сведения об экспертируемом объекте, сведения о заказчике, кроме того, в ней приводятся данные об органе, осуществляющем экспертизу, время её проведения;
- 2) в констатирующей части даётся общая характеристика отражения экологических требований в представленном на экспертизу проекте; в случае проектирования предприятия даётся информация об экологическом состоянии территории, где будет проводиться строительство;
- 3) заключительная часть должна содержать оценку всего комплекса мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей природной среды; эта часть должна завершаться выводами о допустимости воздействия на окружающую природную среду хозяйственной или иной деятельности, явившейся объектом экологической экспертизы, и возможности реализации объекта экспертизы.

Экспертное заключение направляется заказчику, территориально-

му органу Министерства природных ресурсов РФ, органам исполнительной власти субъектов РФ и местным органам самоуправления.

Закон об охране окружающей природной среды запрещает финансирование и реализацию проектов и программ, не получивших положительного заключения государственной экологической экспертизы.

### **7.5. Экономический механизм природопользования, платность природных ресурсов**

Противостояние экономики и экологии – одна из главных проблем охраны окружающей природной среды. Ранее её пытались решать путём административно-командных методов воздействия на основе запретов, ограничений, мер уголовного и административного наказания. Экономический механизм охраны окружающей природной среды опирается на материальную заинтересованность исполнителя в достижении реальной цели с учётом требований экологии. Материальная заинтересованность достигается разными способами.

Один из них имеет дело с позитивными факторами воздействия: финансирование, кредитование, льготы при внедрении экологически чистых технологий, при начислении налогов. Они создают прямые экономические стимулы в охране окружающей природной среды.

Негативные факторы влияют на экономический интерес через изъятие части денежного дохода в качестве платы за пользование ресурсами, налога за экологически вредную продукцию, выпускаемую с применением экологически опасных технологий.

К новым экономическим стимулам относятся экологическое страхование, лицензирование природопользования, совершенствование договорных отношений, где видное место занимает экономический механизм регулирования - договоры на комплексное природопользование, аренду, передачу в постоянное пользование объектов, охрану памятников природы и т.д.

Закон об охране окружающей природной среды предусматривает два вида платежей:

- за право пользования природными ресурсами;
- за загрязнение окружающей природной среды.

I. Плата за использование природных ресурсов включает: плату за право пользования ресурсами; выплаты за сверхлимитное и нерациональное использование природных ресурсов; выплаты на воспроизводство и охрану природных ресурсов.

1. Плата за землю производится в формах: земельного налога, арендной платы, нормативной цены земли.

Ставки налога устанавливаются с учётом состава почвы качества и

месторасположения площадей. Нормативная цена земли характеризует стоимость участка земли определённого качества и месторасположения с учётом потенциального дохода за расчётный срок окупаемости.

2. Плата за использование недр имеет следующие формы: за право на поиск и разведку месторождений полезных ископаемых, их добычу; использование недр для иных целей, не связанных с добычей полезного сырья, например, захоронение отходов. Распределение средств от использования производится следующим образом:

- платежи за право добычи полезных ископаемых распределяются в соответствующих процентах между Федерацией, субъектами Федерации и местными органами;
- плата за право выполнения поисково-разведывательных работ и за право использования недр для целей, не связанных с разработкой полезных ископаемых, поступают в бюджеты городов и районов, на территории которых происходило пользование недрами.

3. Плата за пользование водными объектами в двух формах: за право пользования и на восстановление и охрану вод.

Плата за право пользования вносится потребителями в виде регулярных платежей в течение срока водопользования. Плата за пользование поверхностными водами поступает в бюджеты субъектов Федерации. Плата за право пользования подземными водами поступает в бюджет Федерации и субъектов Федерации. Плата на восстановление и охрану водных объектов поступает в государственный внебюджетный фонд.

4. Формы платы за пользование лесными ресурсами установлены в виде лесных податей (налога), арендной платы, отчислений в фонды воспроизводства, охраны и защиты леса. Лесные подати и арендная плата поступают в бюджеты городов и районов. Фонд воспроизводства является государственным внебюджетным фондом.

5. Плата за пользование растительными ресурсами включает плату за сбор лекарственных трав и сырья, сбор плодов, ягод; за заготовку технического сырья.

6. Плата за ресурсы животного мира предусматривается в виде разнообразной платы за пользование животным миром в виде охоты, отлова животных, использования продуктов их жизнедеятельности и т.д. Другой формой платы служит арендная плата за право пользования охотничьими угодьями.

II. Плата за загрязнение окружающей природной среды направлена на компенсацию вреда, причиняемого природной среде, здоровью человека; должна стимулировать сокращение выбросов, сбросов вредных веществ; служит главным источником образования и пополнения вне-

бюджетных экологических фондов, средства которых используются для оздоровления и охраны окружающей природной среды.

Закон РФ об охране окружающей природной среды предусматривает три вида платы за загрязнение:

- 1) выбросы, сбросы вредных веществ в пределах установленных лимитов;
- 2) выбросы, сбросы вредных веществ сверх установленных норм, либо без разрешения компетентных органов;
- 3) плата за размещение отходов.

Порядок установления платы состоит из трёх этапов:

1. Определение базовых нормативов платы.

Базовые нормативы определяются по каждому виду загрязнителя или виду вредного воздействия с учётом степени их опасности для окружающей среды и здоровья населения.

2. Дифференцированные нормативы исчисляются на основе базовых, но с поправкой на экономическую ситуацию и экологические факторы соответствующих регионов. Дифференцированная ставка платежей для конкретных регионов определяется умножением коэффициента, отражающего экологические особенности региона, на базовую ставку платежей.

3. Конкретные размеры платежей за загрязнение для предприятий-загрязнителей определяются исполнительными органами власти города, района с участием органов охраны окружающей среды, санэпиднадзора и предприятия.

При отсутствии у природопользователя разрешения на выброс вредных веществ плата за загрязнение устанавливается как за сверхлимитное загрязнение окружающей среды. Причём, с учётом экологической ситуации местные исполнительные органы вправе повышать коэффициенты экологической значимости. Так, в крупных городах и промышленных центрах такое повышение разрешается до 20 %, а в зонах экологического бедствия, районах Крайнего Севера, на территории национальных парков, заповедных территориях, курортных регионах – в два раза.

Платежи за выбросы и размещение отходов производятся за счёт себестоимости продукции, а платежи за превышение лимитных загрязнений – за счёт прибыли, которая остаётся в распоряжении предприятия-загрязнителя.

Из общей суммы 10% платежей подлежит перечислению в доход федерального бюджета для финансирования деятельности территориальных природоохранных органов, а 90 % – в экологические фонды.

Если платежи предприятия равны или превышают размер прибыли,

которая остаётся в распоряжении предприятия, то местными органами охраны окружающей среды рассматривается вопрос о приостановлении или прекращении деятельности данного хозяйствующего объекта.

#### **7.6. Лицензирование природопользования**

Лицензирование природопользования – административно-правовое регулирование экологических отношений методами запрета, разрешения и уполномочивания. Лицензия на природопользование имеет три признака, согласно которым она является:

- 1) актом собственника природного ресурса;
- 2) формой проявления контроля государства за рациональным использованием природного ресурса;
- 3) средством регулирования рационального природопользования.

Лицензии выдаются по заявкам соискателей, в том числе и на конкурсной основе. Лицензия выдаётся уполномоченным государственным органом экологического управления. Такими органами сегодня являются Министерство природных ресурсов РФ, его территориально-отраслевые департаменты в субъектах Российской Федерации. Компетенция этих органов на лицензирование определяется видом природного ресурса. Несоблюдение установленного порядка пользования лицензией влечёт за собой лишение лицензии по постановлению органа, который его выдал. Известно свыше 30 видов деятельности и услуг, связанных с выдачей лицензии в области природопользования.

#### **7.7. Арендные отношения в природопользовании и экологическое страхование**

Предметом арендных отношений в природопользовании является использование земельных, водных, лесных, рекреационных и других ресурсов. По договору на аренду природных ресурсов одна сторона – арендодатель – обязуется передать другой стороне – арендатору – для целевого использования определённые виды природных ресурсов (земельные, лесные, лечебно-оздоровительные, водные, рыбохозяйственные, охотничьи) на установленный договором срок. Арендатор обязуется вносить обусловленную договором арендную плату и соблюдать правила рационального использования и охраны природных ресурсов.

В качестве арендодателя выступает владелец, либо собственник природных ресурсов. В РФ арендодателями могут быть Федерация, республики, края, области, автономные образования, города и районы.

Арендатором в договоре аренды природных ресурсов может быть любое правоспособное физическое или юридическое лицо: государственные, кооперативные, общественные предприятия, организации, граждане, совместные предприятия, международные организации и объе-

динения, крестьянские и коллективные хозяйства и т.д.

Сроки заключения договора аренды могут быть различными. Земельная аренда обычно имеет долгосрочный характер с переходом в собственность. Это связано с тем, что земля требует от её владельца капитальных затрат по сохранению и повышению плодородия почвы. Лесная и водная аренды имеют меньшие сроки, на охотничьи угодья аренда заключается сроком от 2 до 5 лет. При этом арендодатель вправе досрочно расторгнуть договор аренды при невыполнении арендатором его условий: при нецелевом использовании ресурсов, невыполнении мероприятий по их охране и рациональному использованию, нарушении требований экологической защиты.

Экологическое страхование – это отношения, направленные на защиту имущественных интересов граждан и юридических лиц при наступлении экологически неблагоприятных обстоятельств за счёт денежных фондов, создаваемых страхователями.

Страхователями являются предприятия, учреждения, организации всех форм собственности, имеющие производственные мощности на территории России. Обычно это предприятия, которые представляют объективную потенциальную опасность возникновения аварийных ситуаций или катастроф (химические заводы, атомные реакторы, нефтегазопроводы и т.п.). Страхование является добровольным. Страхователи заключают договор с государственной страховой компанией, где предусматривается страховая оценка договора, страховые платежи, порядок и условия их выплаты. Страховая оценка в добровольном экологическом страховании – это размер годового оборота предприятия, т.е. выручка от реализации продукции и оказания услуг. Страховые платежи уплачиваются по тарифным ставкам, которые устанавливаются в процентах от годового оборота предприятия.

Объектом экологического страхования является риск имущественной ответственности, который выражается в предъявлении страхователю имущественных претензий о возмещении ущерба за загрязнение земель, вод, воздуха в результате наступления страхового события.

Страховым событием в данном виде экологического страхования является внезапное, непредвиденное нанесение ущерба окружающей среде в результате аварий, приведших к неожиданному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, к загрязнению почвы, сбросу сточных вод.

Непременным условием наступления страхового события, а, следовательно, и выдачи страхового вознаграждения, являются два фактора: внезапность и непреднамеренность.

Потерпевшие ущерб граждане и юридические лица в таком случае

обращаются в суд.

Страховое возмещение выплачивается страхователю в размере, который обусловлен заключённым договором. Оно включает несколько показателей:

- компенсацию ущерба;
- выплату убытка от ухудшения условий жизни и окружающей среды;
- компенсацию расходов по очистке территории, по спасению жизни и имущества.

## **7.8. Международное сотрудничество**

Международное сотрудничество России в области охраны окружающей среды осуществляется по трём основным направлениям: международные организации, международные конвенции, многосторонние и двусторонние связи.

Первое направление включает прежде всего систему ООН (проекты глобального характера – озон, климат, биоразнообразие, региональные моря; трансграничные проблемы, связанные с загрязнением атмосферы, поверхностных вод и транспортировкой промышленных отходов; проекты оказания технической помощи России и программы по охране окружающей среды Арктики). Важным направлением работы является взаимодействие со Всемирным союзом охраны природы (совместные действия заповедников и национальных парков Северной Евразии, сохранение биоразнообразия на трансграничных охраняемых территориях Европы), с Организацией экономического сотрудничества и развития (создания новых механизмов финансирования, совершенствование экологических фондов и системы сбора экологической информации) и рядом других организаций.

Российская Федерация участвует более чем в 20 многосторонних конвенциях в области охраны природы. Назовём некоторые важные международные договоры:

- Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния;
- Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением;
- Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения;
- Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов;
- Конвенция о биологическом разнообразии и другие.

По третьему направлению в рамках 40 соглашений различного типа Россия взаимодействует с 28 государствами. Успешно развивается

взаимодействие с Германией, Данией, США и Финляндией. Двусторонние контакты направлены на решение различных проблем – от охраны перелётных птиц до глобального экосистемного мониторинга.

## Заключение

В завершение настоящего учебного пособия целесообразно обратить внимание, на феноменологические законы экологии, сформулированные в 70-х годах XX столетия американским экологом Барри Коммонером. Законы стали практически основополагающими в экологии, и явились базовыми установками для организации защиты окружающей среды, так как объединяют многие важные принципы и законы экологии и являются справедливыми для многих других наук и сфер деятельности человека.

Рассмотрим эти законы, сформулированные в виде афоризмов, которыми должно руководствоваться общество в процессах пользования человеком биосферой и, одновременно, организации ее защиты:

- 1) «Все связано во всем».
- 2) «Все должно куда-то деваться».
- 3) «Природа знает лучше».
- 4) «Ничто не дается даром».

Первый и второй законы Б.Коммонера указывают на всеобщую связь процессов и явлений в природе и близки по смыслу к закону внутреннего динамического равновесия Н.Ф. Реймерса, устанавливающего закономерности отношений между отдельными экологическими компонентами экосистем. Второй закон также близок к закону развития природной системы за счет окружающей среды о невозможности абсолютно безотходного производства.

Третий закон Б.Коммонера отмечает неполноту наших знаний о механизмах и функциях природы и призывает к предельной осторожности при преобразовании природных систем.

Смысл четвертого закона состоит в том, что природу нельзя рассматривать как кладовую, из которой можно только брать, ничего не давая взамен.

Несомненный интерес в контексте рассмотренных законов представляет теория биотической регуляции окружающей среды (теория БРОС), которая была разработана в России в 80-х годах профессором В.Г. Горшковым и его школой.

Суть теории БРОС состоит в том, что окружающая нас среда создана и поддерживается на необходимом для жизни уровне самой биотой.

Согласно теории БРОС биосфера, включая биоту и окружающую ее среду, обладает мощными механизмами стабилизации параметров окружающей среды для обеспечения близких к оптимальным условий существования живых организмов.

Действие этих механизмов основано на конкурентном взаимодействии входящих в биоту высоко коррелированных сообществ организмов, благодаря чему достигается высокая степень замкнутости круговоротов веществ, обеспечиваемая биотой, и гарантирует стабильность окружающей среды.

Входящие в состав биоты живые организмы истребляют биогены в процессе синтеза и выделяют их при разложении органических веществ в определенных стехиометрических соотношениях, которые различаются у разных организмов. Это позволяет естественной биоте варьировать их и тем самым направленно изменять концентрации отдельных биогенов в окружающей среде.

Из данных по биологической продуктивности и захоронению углерода в осадочных породах известно, что скорость изменения содержания углерода в окружающей среде за счет влияния биологических процессов на четыре порядка выше, чем в результате воздействия геофизических и космических процессов. Таким образом, геофизические процессы, приводя к направленному изменению окружающей среды, могли бы на 100 % изменить ее характеристики за время порядка 100 тыс. лет, а за 1 млн. лет сделать ее полностью непригодной для жизни. И тот факт, что этого не произошло за 4 млрд. лет (время существования биосферы) служит подтверждением наличия биотической регуляции окружающей среды.

Развиваемая биотой огромная мощность потоков синтеза и разложения позволяют ей быстро компенсировать любые геофизические и космические флуктуации, возвращая окружающую среду к первоначальному состоянию. Однако устойчивость окружающей среды сохраняется лишь при наличии невозмущенной биоты. Возмущение биоты представляет гораздо большую опасность, чем ее уничтожение. Если при уничтожении биоты окружающая среда, изменяясь только за счет геофизических процессов, может полностью исказиться за сотни тысяч лет, то возмущение биоты на четыре порядка опаснее. При разрушении связи между синтезом и разложением в функционирующей биоте окружающая среда может полностью исказиться за десятки лет.

Поэтому главным в теории БРОС является определение допустимого порога возмущения биоты (так называемой предельной хозяйственной емкости биосферы). Расчеты, положенные в основу теории БРОС, показывают, что биота сохраняет способность контролировать условия

окружающей среды, если человек в процессе своей деятельности использует не более 1 % чистой первичной продукции биоты. Остальная часть продукции должна распределяться между видами, выполняющими функции стабилизации окружающей среды. Перевод в антропогенный канал более 1 % чистой первичной продукции биоты и является верхним порогом хозяйственной емкости биосферы. Главным выводом теории является необходимость сохранения естественной биоты в состоянии допорогового возмущения, что обеспечивает биотическую регуляцию окружающей среды.

При снижении уровня современного возмущения биоты на порядок величины все неблагоприятные глобальные изменения окружающей среды были бы остановлены, и она вернулась бы в первоначальное невозмущенное состояние. Поэтому перед человеком остро стоит проблема снятия антропогенного стресса, вызванного стихийным развитием сельского хозяйства, промышленности, транспорта, строительства, переэксплуатацией природных ресурсов и другими сторонами деятельности, осуществляемыми без учета возможных экологических последствий.

## Литература

1. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. - СПб: Химия, 1997. – 240 с.
2. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология. Учебное пособие. Часть I. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 134 с.
3. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология. Часть 2. Учебное пособие. / Под. редакцией В.Ф. Панина. – Северск: СГТА. 2006. – 168 с.
4. Химия окружающей среды / Под ред. Бокриса Дж. О. М.: Химия , 1982. – 671 с.
5. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. - М.: «Прогресс» - «Пангея», 1994, т. 2 – 335 с.
6. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир: В 2-х т. Пер. с англ. - М.: Мир, 1993, - т.1 - 420 с., т. 2 – 424 с.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. - М.: Гл.ред. МСЭ. – 408 с.
8. Ливчак И.Ф. Воронов Ю.В. Охрана окружающей среды. - М.: Стройиздат, 1988. – 191 с.
9. Техника защиты окружающей среды / Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
10. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
11. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 328 с.
12. Безопасность жизнедеятельности / С.В.Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
13. Охрана окружающей среды: Учебн. для техн. спец. вузов / С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков и др.. Под ред. С.В.Белова. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
14. Лапшев Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 223 с.
15. Электроэнергетика и природа (экологические проблемы развития электроэнергетики) / Под ред. Г.Н. Лялика и А.Ш. Резниковского. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 325 с.
16. ГОСТ 25 150-82. Канализация. Термины и определения. – М.: Изд. стандартов, 1984. – 10 с.

17. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 227 с.
18. Яковлев С.В. и др. Водоотводящие системы промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
19. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. – 112 с.
20. Дзюбо В.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 116 с.
21. Панин В. Ф., Сечин А. И., Федосова В. Д. Экология для инженера: Общеэкологическая концепция биосферы и экономические рычаги преодоления Глобального экологического кризиса; обзор современных принципов и методов защиты биосферы: Учебное пособие. Под ред. В.Ф.Панина. – М.: Издательский Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с.
22. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1989. – 224 с.
23. Яковлев С.В. и др. Канализация: Учебн. для вузов, 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1976 – 632 с.
24. Уричашвили Б. Свалка как символ нашей жизни // Известия. – 1995, №39.
25. Атомная энергетика – что дальше? – М.: Знание, 1989. – 48 с.
26. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. - Томск: изд. ТГУ, 1990. – 188 с.
27. Карташов А.Г. Введение в экологию. Учебное пособие. – Томск: Изд. «Водолей», 1998. – 384 с.
28. Основы радиационной безопасности в жизнедеятельности человека: Учебное пособие / П.П.Кукин, В.Л.Лапин, В.М.Попов, Л.Э.Мрачевский, Н.И.Сердюк; под общ. ред. В.Л.Лапина, В.М.Попова; МГАТУ им. К.Э.Циолковского; Курск ГТУ. Курск, 1995. – 143 с.
29. Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 79 с.
30. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
31. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
32. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности / Ф.З.Ширяев, В.И.Карпов, В.М.Крупчатников и др. / Под ред. Б.Н.Ласкорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 233 .
33. Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» (Сан. П и Н 2.2.4/2.1.8.055-96)
34. Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Кудрин И.Д. Защита от электромаг-

- нитных излучений. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1998, вып. 4. – С. 2 – 11.
35. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Никитин О.А., Аношин О.А., Кужекин И.П., Максимов Б.К. О влиянии электрических и магнитных полей промышленной частоты на здоровье человека // Энергетик. – 1996, № 11. – С. 4 – 5.
36. Малахов В.М., Сенич В.Н. Тепловые загрязнения окружающей среды промышленными предприятиями: Аналитический обзор / СО РАН. ГПНТБ; АОТ НПФ «Техэнергохимпром»; ООО «Химмашэкология». – Новосибирск, 1997. – 68 с. (Сер. «Экология». Вып. 44).
37. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах, Кн. 3. Энергетические проблемы человечества: Пер. с англ. - М.: Мир, 1995. – 291 с.
38. Беккер А.А. Глобальные изменения климата – возможные причины и последствия. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1998, вып. 4. – С. 2-11.
39. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинёв: Гл. ред. МСЭ. – 408 с.
40. Бусаров В.Н. Возможности уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub> за счёт использования возобновляемых источников энергии в условиях глобального изменения природной среды и климата. – Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1996, вып. 4. – С. 51-88.
41. Энергетические аспекты защиты окружающей среды от теплового и химического загрязнения / С.С. Кутателадзе, В.Н. Москвичёва, Б.И. Псахис и др. – Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1978. – 40 с.
42. Влияние термального загрязнения вод на водные организмы // Fish und Umwelt. – 1976. – N 2.
43. Основы биопродуктивности внутренних водоёмов Прибалтики: Сб. науч. ст. – Вильнюс, 1975. – 180 с.
44. Langford T.E. Экология и охлаждающие воды электростанций // 9th World Energy Conf., Detroit. – 1974. – Trans. Vol. 3 – S. 1.
45. Образование и распространение вторичных загрязнений воздуха / W.H. White, J.A. Anderson, D.L. Blumental. – Science. – 1976. – Vol. 194, N 4261.
46. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. Часть I / Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – М.: Информационно-внедренческий центр «Д Маркетинг», 1998. – 248 с.

47. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1997 году. Государственный Комитет по охране окружающей среды Томской области. – Томск: 1998. – 258 с.
48. Горшков В.Г. Современные изменения окружающей среды и возможности их прекращения // Докл. РАН. – 332. - №2. – 1993. – С. 802-805.
49. Gorshkov V.G., Kondrat'ev K.Ya., Losev K.S. The natural biological regulation of environment // Ecol. Chem. – 1994. - №3. – P. 85 – 90.
50. Мызин Л.А. Экология и энергетика. Учебное пособие. – Екатеринбург: УГТУ. 1999. – 100 с.

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1 Причины глобального экологического кризиса .....	7
1.1 Нарушение естественных циклов круговорота веществ в биосфере .	7
1.2 Помехи в биогеоценозах .....	9
1.2.1 Обратная связь в экосистемах .....	9
1.2.2 Помехи в экосистемах. ....	10
1.2.3 Биохимические и клеточные эффекты .....	12
1.2.4 Воздействие на уровне организма .....	13
1.2.5 Воздействие на экосистемным .....	15
1.2.6 Кислотные дожди .....	16
Глава 2 Экологические проблемы научно-технического прогресса .....	17
2.1. Масштабы производственной деятельности человека .....	17
2.2. Этапы и формы изменения биосферы человеком .....	18
2.3. Факторы антропогенного воздействия на биосферу .....	20
2.3.1. Строение и состав атмосферы, источники ее загрязнения, норми- рование загрязнений .....	20
2.3.1.1. Строение и состав газовой оболочки Земли .....	20
2.3.1.2. Источники загрязнения атмосферы .....	21
2.3.1.3. Нормирование атмосферных загрязнений .....	23
2.3.2. Источники загрязнения гидросферы .....	24
2.3.3. Источники загрязнения литосферы .....	25
2.3.4. Источники энергетических загрязнений .....	27
2.4. Антропогенные воздействия глобального характера .....	30
2.4.1. Поступление в атмосферу антропогенной теплоты .....	30
2.4.2. Соотношение уровней воздействия антропогенных и естествен- ных выбросов на биосферу, явления смога и кислотных дождей ....	32
2.4.3 Антропогенное воздействие на стратосферный озон .....	35
2.5. Антропогенные воздействия на окружающую среду локального характера .....	39
2.5.1. Действие атмосферных загрязнителей в городах .....	39
2.5.2. Температурная стратификация атмосферы и инверсии температуры .....	41
2.5.3 Воздействие на водную среду тепловых загрязнений .....	43
2.5.4 Воздействие атмосферных загрязнителей на организм человека .	44
2.5.5 Загрязнение воздуха в помещениях .....	47
2.6. Ущерб от загрязнения окружающей среды .....	47

2.7. Концепция устойчивого развития как инструмент преодоления глобального экологического кризиса .....	55
Глава 3 Нормативно-правовые основы	
защиты окружающей среды .....	57
3.1 Принципы организации охраны окружающей	
среды и ее правовой защиты .....	57
3.1.1 Органы охраны окружающей природной среды .....	57
3.1.2. Содержание экологических правоотношений .....	60
3.2. Законодательство в области охраны окружающей среды .....	64
3.2.1. Экологическое законодательство России .....	64
3.2.2. Природоохранительная ответственность .....	67
3.3. Стандарты в области защиты окружающей среды .....	69
3.3.1. Показатели экологических стандартов .....	69
3.3.2. ПДК загрязняющих веществ в атмосфере .....	73
3.3.3. ПДК загрязняющих веществ в водной среде и в почве .....	76
Глава 4. Основные направления защиты атмосферного воздуха	
от антропогенных выбросов загрязняющих веществ .....	78
4.1. Уменьшение загрязнения воздушной среды от	
промышленных предприятий .....	78
4.2. Уменьшение загрязнения воздушной среды от энергетических	
установок и автотранспорта, рассеивание выбросов в атмосфере,	
использование зеленых насаждений .....	82
4.3. Методы и средства контроля воздушной среды .....	84
Глава 5. Основные направления защиты гидросферы от	
антропогенных загрязнений .....	86
5.1. Ресурсы и потребители пресной воды, ее потери и загрязнение,	
экологические последствия .....	86
5.1.1. Характеристика водных ресурсов Земли .....	86
5.1.2. Потребители пресной воды .....	88
5.1.3. Потери пресной воды. Экологические последствия .....	89
5.1.4. Источники загрязнения воды, экологические последствия	
загрязнения природных вод .....	91
5.2 Нормирование, регулирование, контроль	
качества воды в водоемах .....	98
5.2.1. Нормирование и регулирование качества воды в водоёмах ...	98
5.2.2. Методы и приборы контроля качества воды в водоёмах .....	104
5.3. Классификация методов очистки сточных вод.	
Основы процессов и принципы механической очистки стоков .....	107
5.3.1. Классификация методов очистки сточных вод .....	107
5.3.2. Основы процессов и принципы механической	
очистки стоков .....	109

5.3.3. Очистка сточных вод от нефтепродуктов . . . . .	113
5.4. Физико-химические методы очистки сточных вод . . . . .	115
5.4.1. Коагуляция, флокуляция и электрокоагуляция . . . . .	115
5.4.2. Сорбция . . . . .	116
5.4.3. Экстракция . . . . .	117
5.4.4. Ионный обмен . . . . .	118
5.4.5. Электродиализ . . . . .	119
5.4.6. Гиперфильтрация (обратный осмос) и ультрафильтрация . . . . .	121
5.4.7. Другие методы физико-химической очистки сточных вод . . . . .	121
5.5. Химическая очистка сточных вод . . . . .	122
5.5.1. Нейтрализация . . . . .	123
5.5.2. Окисление . . . . .	124
5.6. Биологическая очистка сточных вод . . . . .	127
5.6.1. Общие представления о биологической очистке сточных вод . . . . .	127
5.6.2 Влияние факторов на биологическую очистку стоков . . . . .	127
5.6.3 Методы и сооружения биологической очистки . . . . .	128
5.6.4. Глубокая очистка и обеззараживание сточных вод . . . . .	131
5.7. Оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий . . . . .	132
Глава 6. Уменьшение загрязнения окружающей среды твёрдыми отходами. Принципы защиты окружающей среды от энергетических воздействий . . . . .	139
6.1 Классификация твёрдых отходов и их транспортировка . . . . .	139
6.2 Полигоны для твёрдых отходов . . . . .	142
6.3 Переработка и утилизация твёрдых отходов . . . . .	145
6.3.1 Переработка твёрдых отходов на компост . . . . .	145
6.3.2 Рециклизация . . . . .	146
6.3.3 Обработка осадка сточных вод . . . . .	147
6.3.4 Отходы как источник энергии . . . . .	148
6.3.5 Безотходное и малоотходное производства . . . . .	148
6.4. Энергетические загрязнения и принципы их нормирования как главные компоненты комплекса мер по защите окружающей среды . . . . .	150
Глава 7. Контроль и управление качеством окружающей среды . . . . .	153
7.1. Экологический мониторинг . . . . .	153
7.2. Экологический контроль состояния окружающей среды . . . . .	155
7.3. Экологическая паспортизация . . . . .	156
7.4. Экологическая экспертиза . . . . .	157
7.5. Экономический механизм природопользования, платность природных ресурсов . . . . .	159
7.6. Лицензирование природопользования . . . . .	162

7.7. Арендные отношения в природопользовании и экологическое страхование . . . . .	162
7.8. Международное сотрудничество . . . . .	164
Заключение . . . . .	165
Литература . . . . .	167

Учебное издание

ПАНИН Владимир Филиппович  
РОМАНЕНКО Сергей Владимирович  
СЕЧИН Андрей Александрович  
СЕЧИН Александр Иванович

## **ВВЕДЕНИЕ В ЗАЩИТУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

**Издано в авторской редакции**

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 14.11.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 9,26.  
Заказ 1695-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)