

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

**А. Н. Лопанов, Е. В. Климова**

**МОНИТОРИНГ И ЭКСПЕРТИЗА  
БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Учебное пособие**



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

А. Н. Лопанов, Е. В. Климова

МОНИТОРИНГ И ЭКСПЕРТИЗА

БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению 280100 «Безопасность  
жизнедеятельности» специальности 280102.65 «Безопасность  
технологических процессов и производств»*

Белгород  
2009

УДК 69.05.(07)

ББК 38.7-08я7

Л 78

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Н.В. Нестерова

д-р техн. наук, проф. Л. Ю. Огрель

д-р техн. наук, проф. В. И. Стрельцов

**Лопанов, А. Н.**

Л 78 **Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / А. Н. Лопанов, Е. В. Климова.** – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 201 с.  
ISBN 978-5—361-00097-5

Учебное пособие составлено в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования подготовки дипломированных специалистов специальности 280102 – Безопасность технологических процессов и производств. Издание содержит основные положения законодательства мониторинга окружающей среды, классификацию видов мониторинга, основные положения экологической экспертизы. В пособии дается представление об основных закономерностях и принципах развития экологических систем; представлены методики и методы контроля безопасного состояния природно-технических систем, специальные методы расчетов количества веществ, поступающих в экологические системы, основы эколого-экономической экспертизы и другие аспекты мониторинга безопасности жизнедеятельности. Важным элементом пособия является рассмотрение мониторинга и экспертизы промышленной безопасности в различных отраслях народного хозяйства.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 280102 – Безопасность технологических процессов и производств.

УДК 69.05.(07)

ББК 38.7-08я7

ISBN 978-5—361-00097-5

© Белгородский  
государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2009

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	5
<b>1. Основные закономерности и принципы развития экологических систем</b> .....	6
1.1. Развитие биосферы под воздействием деятельности человека .....	6
1.2. Законы развития экологических систем.....	7
1.3. Системный подход проведения мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности.....	10
1.4. Рациональное использование энергии – основа устойчивого развития биосферы.....	19
1.5. Материальный баланс.....	29
<b>2. Мониторинг безопасности жизнедеятельности</b> .....	35
2.1. Классификация видов мониторинга .....	35
2.2. Мониторинг промышленной безопасности.....	38
2.3. Химическая и добывающая промышленность .....	41
2.4. Мониторинг районов гидротехнических сооружений... ..	46
2.5. Мониторинг и оценка загрязненности почвы.....	50
2.6. Мониторинг территорий населенных мест и городских агломераций .....	55
2.7. Мониторинг районов АЭС .....	67
2.8. Мониторинг территорий нефтегазопроводов и транспортных систем .....	74
<b>3. Методики и методы контроля безопасного состояния природно-технических систем</b> .....	79
3.1. Наблюдательные сети и программы наблюдений.....	79
3.2. Дистанционные методы исследований.....	84
3.3. Наблюдательные станции .....	86
3.4. Моделирование технологических процессов и экологических систем.....	90
<b>4. Специальные методы расчетов количества загрязняющих веществ, поступающих в экологические системы</b> .....	101
4.1. Расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся при горении топлива.....	101
4.2. Распределение вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха.....	110

4.3. Прогноз качества воды рек и водоемов при сбросе загрязняющих веществ.....	118
4.4. Нормирование выбросов загрязняющих веществ.....	124
4.5. Нормирование сбросов загрязняющих веществ.....	130
4.6. Основные положения экспертизы по охране биосферы от ионизирующих излучений.....	136
4.7. Расчет ожидаемой активности излучения при выбросах радионуклидов.....	142
4.8. Оценка уровней шума и его воздействие на биосферу....	149
4.9. Влияние освещения на условия деятельности человека...	165
<b>5. Основы эколого-экономической экспертизы.....</b>	<b>177</b>
5.1. Эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы.....	177
5.2. Эколого-экономический ущерб от загрязнения водоемов и почвы.....	184
<b>6. Нормативно-правовая база мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности.....</b>	<b>189</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>197</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>199</b>

## Введение

Мониторинг и экспертиза являются важнейшими элементами оценки опасностей технологических процессов и природных систем – безопасности жизнедеятельности человека в техносфере. Основу мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности составляют системы наблюдения за состоянием окружающей природной среды, методы прогноза развития изменений в природе в результате хозяйственной деятельности человека и осуществление профилактических и защитных мероприятий в его техногенной деятельности.

Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности приобрели в настоящее время характер актуальной проблемы государственного масштаба.

Успешное изучение курса студентами возможно при наличии соответствующей учебной литературы. Предлагаемое вниманию студентов и преподавателей учебное пособие подготовлено в соответствии с учебной программой курса «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальности 280102 – Безопасность технологических процессов и производств.

Одной из основных задач в подготовке квалифицированного специалиста по данному направлению является умение оценивать состояние окружающей среды с позиции безопасности жизнедеятельности.

В данном учебном пособии приведены сведения о научных и практических достижениях в области знаний по мониторингу безопасности жизнедеятельности, окружающей среды, промышленной безопасности, проведении экологической экспертизы технологического процесса, объектов промышленности.

Пособие «Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности» призвано дать представление о техногенных воздействиях на окружающую среду, познакомить студента с методиками и методами контроля и расчета безопасного состояния природно-технических систем и другими аспектами мониторинга безопасности жизнедеятельности.

# **1. Основные закономерности и принципы развития экологических систем**

## **1.1. Развитие биосферы под воздействием деятельности человека**

Природа является объектом изучения любой науки, в том числе экологии и разделов дисциплины безопасности жизнедеятельности. В традиционно узком смысле слова природа – это совокупность условий существования человека. Понятие природы в широком понимании включает материальный, энергетический и информационный мир Вселенной. Для более точного разграничения понятий природы вводят определение биосферы – область обитания живых организмов или оболочка Земли, структура и энергетика которой определена прошлой и настоящей деятельностью живых существ. Часть биосферы называют экологической системой – совокупностью сложившихся и взаимодействующих между собой живых и неживых компонентов на определенном участке природной среды и временном интервале.

До определенного этапа развития Земли основное влияние на природу оказывали естественные процессы, не зависящие от деятельности человека. В XIX в. масштабы развития промышленности, сельского хозяйства достигли таких размеров, что началось непредсказуемое изменение процессов, протекающих в биосфере. Перед человеком возникла задача ее охраны – сохранения устойчивого развития, формулировки принципов безопасной жизнедеятельности.

Под устойчивым развитием понимают эволюционное преобразование природы. Это положение требует специального пояснения. Эволюционное развитие биосферы предполагает использование законов экологии, сохранение сложившихся потоков и балансов вещества, энергии, информации, нарушение которых человеком приводит к исчезновению различных видов растений и животных.

Загрязнение атмосферы, гидросферы, литосферы, игнорирование законов экологии, отсутствие правил взаимоотношения с природой привело к тому, что за период с 1700 по 1990 гг. под угрозу поставлено исчезновение 25 тысяч видов растений, более тысячи видов позвоночных животных. Полностью истреблено 280 видов птиц

и млекопитающих, 450 видов находится на грани уничтожения. Человечество вплотную подошло к границе, за которой нет альтернативы устойчивому развитию природы.

Охрану биосферы, экологической системы начинают с оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности человека или природного явления – мониторинга и экологической экспертизы. Экологическая экспертиза – это интегральный анализ процесса, технологии, деятельности предприятия, проекта преобразования природы, природного явления. Экологическая экспертиза является частью рационального природопользования как науки, разрабатывающей общие и частные принципы деятельности человека, связанные с использованием природой и ее ресурсами в виде вещества, энергии, информации.

Предмет мониторинга и экспертизы – оптимизация отношений субъектов биосферы с целью сохранения и воспроизводства среды жизни. Объектом экологической экспертизы являются взаимодействия субъектов биосферы, например, соотношения между природными ресурсами и условиями жизни общества, между уровнем технологии производства и социальными, экономическими условиями жизни людей, связь между технологиями и последствиями их использования в воспроизводстве среды обитания. Как сфера знания экологическая экспертиза состоит из элементов естественных, технических и общественных наук. Приложение законов математики, физики, химии, биологии к изучению взаимодействия субъектов биосферы позволяет осуществлять основные функции экологической экспертизы как науки – описывать, объяснять существующие явления и процессы, предсказывать направление развития экологических систем различной иерархии или биосферы в целом.

## **1.2. Законы развития экологических систем**

Проведение мониторинга и экологической экспертизы основано на использовании законов и закономерностей экологии. Общие законы сформулированы В.И.Вернадским, К.Ф. Рулье, Б. Коммонером и другими учеными. Выделим следующие законы экологии:

– закон физико-химического единства живого вещества (закон В.И.Вернадского);



- закон преобразования, развития природы;
- закон динамического природного равновесия;
- закон системной организации и усложнения биосферы;
- закон снижения энергетической эффективности природопользования.

Фундаментальным законом, устанавливающим правила функционирования биосферы, является закон физико-химического единства живого вещества. Во многих случаях кризисные проявления в развитии биосферы происходят из-за непонимания или игнорирования закона физико-химического единства живого вещества. Важнейшее следствие из закона В.И. Вернадского – любые вредные воздействия оказывают негативное влияние на всю природу. Поясним это положение. В окружающей природной среде существуют виды животных, растений, различающихся по степени устойчивости к воздействию негативных факторов. При длительном действии токсичного вещества или излучения на живые организмы происходит привыкание или адаптация животного, растения, микроорганизма. Скорость привыкания к вредному воздействию данного вида живого существа пропорционально частоте чередования поколений. Влияние вредного фактора, к которому организм с медленной сменой поколений устойчив, уравнивается фактором адаптации видов с быстрой сменой поколений. Длительное использование химических веществ для борьбы с вредителями не является эффективным средством, отражается на здоровье людей и негативно влияет на окружающий мир. Так, применение одного типа пестицида в сельском хозяйстве неизбежно приведет к тому, что живой организм, подвергающийся воздействию пестицида, начнет привыкать к химическому препарату. Для достижения требуемого эффекта необходимо увеличивать концентрацию токсичного вещества, которая достигнет таких величин, что приведет к отравлению других животных или человека.

Следующее важное следствие рассматриваемого закона связано с организацией живого вещества в биосфере. Биосфера – это сложный, многофункциональный организм, представляющий единое целое в данный период своего развития. Нарушение функциональных связей биосферы снижает устойчивость всей системы, изменяется баланс материальных, энергетических, информационных потоков, поэтому

охрана всего живого способствует развитию человека и сохранению среды его обитания.

Проявление закона физико-химического единства живого вещества обусловлено процессами, протекающими в живых организмах на молекулярном уровне, в способности живых организмов воспроизводить себе подобных существ. С точки зрения теории информации эта способность заключается в передаче информации от одного поколения к другому. Доказано, что существует единый механизм воспроизводства и передачи информации у человека, животных, микроорганизмов, растений. Молекулярный аппарат клеток одинаков для простых и сложных элементов биосферы: универсальный генетический код, способ его передачи и общие принципы строения макромолекул белка живых существ.

Закон преобразования, развития природы указывает на качественный и количественный состав биосферы – в природе нет ничего вечного, все развивается по определенным законам.

Каким образом происходит развитие, указывает закон системной организации, усложнения биосферы – развитие живых организмов приводит к усложнению, разделению функций, возрастанию дифференциации между отдельными частями системы.

Законы преобразования, развития системы и организации, усложнения биосферы связаны со способностью живого вещества к самоорганизации – изменению, усложнению, дифференциации. Принцип самоорганизации материи в определенных условиях эквивалентен дарвиновскому принципу естественного отбора, который обеспечивает эволюционное поведение самовоспроизводящихся живых существ, в том числе и человека.

Закон динамического природного равновесия устанавливает взаимосвязь между элементами биосферы в виде вещества, энергии, информации. Изменение одних показателей, определяющих функционирование системы, оказывает влияние на другие параметры качественного и количественного характера. Так, исчезновение в степных районах копытных животных вызывает появление большого количества грызунов, а нарушение динамического равновесия других видов сопровождается периодами массового размножения организмов, в том числе вредных и опасных.

Следствия из закона динамического природного равновесия:

– нарушение динамического равновесия в биосфере вызывает развитие процессов компенсации произведенного изменения;

– взаимодействие между элементами биосферы не носит линейного характера; незначительные увеличения или снижения одних показателей могут вызвать сильные отклонения в развитии системы.

Показателен следующий пример: нарушение энергетических балансов Земли на 1% сопровождается глобальными нарушениями климатических условий в различных районах и выходом экосистемы из равновесия.

### **1.3. Системный подход проведения мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности**

Законы В. И. Вернадского, преобразования или развития природы, динамического природного равновесия, системной организации и усложнения биосферы позволяют сформулировать предпосылки устойчивого, эволюционного развития биосферы:

– функционирование биосферы предполагает возможность стабилизации одних ее видов и форм за счет других;

– стабилизация или преимущественное развитие живых существ имеет динамическую природу: стабилизированные формы живой материи становятся неустойчивыми при появлении более выгодных форм или изменении условий окружающей среды;

– процессы, протекающие в биосфере, не находятся в равновесии, а сама система незамкнута, что дает возможность компенсировать увеличение энтропии системы вследствие ее усложнения;

– точность воспроизведения элементов биосферы ограничена молекулярным механизмом копирования живых организмов. Ошибки копирования – необходимое условие при создании новых элементов биосферы;

– существуют пороговые значения максимальной скорости эволюции. Превышение пороговых значений скорости эволюции приводит к потере информации, накопленной в эволюционном процессе.

Системная организация и усложнение биосферы проявляются в форме закона снижения энергетической эффективности природопользования. По мере развития общества возрастают энергетические затраты на производство продукции: добыча сырья, топлива, полезных ископаемых, продуктов питания, промышленной продукции, воспроизводство среды обитания.

Показательны следующие примеры функционирования сельского хозяйства (табл.1.1). По сравнению с примитивным земледелием, среднее потребление энергии в сельскохозяйственном производстве увеличилось в 30–40 раз, но урожайность полей повысилась на 10–15% при использовании традиционных технологий. В некоторых областях сельского хозяйства, используя новые технологии, урожайность удалось повысить в 4–6 раз, но удельное потребление энергии в расчете на единицу продукции выросло в 6–10 раз.

*Таблица 1.1*

**Энергетические затраты человека  
в различные периоды времени**

Период развития общества	Затраты энергии на человека, кВт	Затраты на производство продуктов питания, кВт
Каменный век	0,1–0,3	0,1–0,3
Аграрное общество XIV–XVIII вв.	1,4–2	0,5–0,8
Индустриальная эпоха XIX–XX вв.	3,9–10	1,0–3,0

Закон снижения энергетической эффективности природопользования имеет несколько важных следствий:

- рост энергетических затрат не может продолжаться бесконечно. Ограничения пределов потребления энергии зависят от тепловых лимитов энергетических потоков биосферы;

- преимущественное экономическое развитие получают субъекты биосферы, осуществляющие рациональное, экономное расходование сырьевых, энергетических ресурсов.

При бесконтрольном, неограниченном вывозе сырьевых ресурсов происходит обеднение минеральным топливом, другими видами сырья. Добыча полезных ископаемых сопровождается все более значительными энергетическими, трудовыми затратами, что сказывается на экономическом, социальном положении субъектов биосферы. Долговременную стратегию использования топлива, сырья, минералов необходимо строить на экономии и даже консервации месторождений полезных ископаемых. Необходимо отметить, что закон снижения энергетической эффективности природопользования не всегда учитывают при разработке месторождений полезных ископаемых, сдаче в аренду земельных ресурсов, создании долговременных программ экономического развития регионов.

Воздействие деятельности человека, явления, процесса на природную среду проводят путем мониторинга и анализа потоков. Поток – это изменение компонента в единицу времени. Различают поток и удельный поток, отнесенный к единице площади границы раздела системы:

$$P = \frac{dK}{dt}; P_s = \frac{1}{S} \frac{dK}{dt},$$

где  $P$ ,  $P_s$  – соответственно поток, удельный поток;  $K$  – количество компонента;  $t$  – время;  $S$  – площадь системы.

Основные потоки: поток вещества, кг/с, кг/м<sup>2</sup>-с; поток энергии, Дж/с, Дж/м<sup>2</sup>-с; поток информации, ед. инф./с, ед.инф./м<sup>2</sup>·с.

Зависимость между входящими и выходящими потоками называют балансом системы. Простейший водный баланс Земли, учитывающий потоки воды в виде осадков, испарений с поверхности суши и океанов показан в табл. 1.2.

Таблица 1.2

### Водный баланс биосферы Земли

Осадки		Испарения	
Регион	Масса воды, кг/год	Регион	Масса воды, кг/год
Мировой океан	$4,58 \cdot 10^{17}$	Мировой океан	$5,05 \cdot 10^{17}$

Суша	$1,09 \cdot 10^{17}$	Суша	$0,72 \cdot 10^{17}$
Итого	$5,77 \cdot 10^{17}$	Итого	$5,77 \cdot 10^{17}$

Баланс является основой составления круговорота компонентов – циклического перераспределения во времени вещества, энергии, информации. Круговорот или цикл компонента составляют в виде различных схем, таблиц, графиков (рис. 1.1).

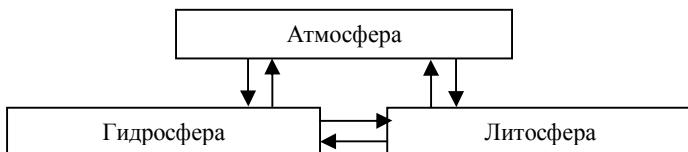


Рис. 1.1. Схематическое изображение круговорота веществ в природной среде

В биосфере постоянно совершаются круговороты компонентов, входящих в состав живых и неживых веществ. Движущая сила круговорота состоит из энергии солнечного излучения и вещества планеты. Живое вещество выполняет четыре основные функции: газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную, биохимическую.

Газовую функцию осуществляют растения, животные, микроорганизмы, человек. Газовая функция проявляется в виде поглощения или выделения различных газов. В процессе фотосинтеза выделяется кислород, животные и растения при дыхании выделяют углекислый газ, бактерии восстанавливают азот или окисляют сероводород.

Концентрационная функция проявляется при концентрации химических элементов в живом веществе и далее в природе.

Окислительно-восстановительная функция связана с окислением или восстановлением веществ в литосфере, гидросфере, атмосфере. В результате реакции окисления-восстановления и последующей концентрации веществ образовались отложения соединений железа, известняка, бокситов и других руд.

Биохимическая функция происходит в биогенной миграции атомов или веществ, при питании, дыхании, а также в процессе разрушения и гниения отмерших организмов.

Круговорот веществ в биосфере может происходить с участием живых организмов или без них. Так, в стратосфере кислород под действием солнечной радиации превращается в озон. Диффузионные процессы приводят к проникновению озона в тропосферу, где под влиянием пыли, паров воды происходит реакция разложения озона. Процесс разложения озона под воздействием физико-химических факторов называют тропосферным стоком. Возникает своеобразный цикл в верхних слоях атмосферы – небиогенная миграция атомов кислорода.

Биогенная миграция атомов отличается от физико-химических перемещений вещества в атмосфере, воде, почве. Биогенная миграция атомов составляет основу круговорота вещества в биосфере – переход атомов из одного организма в другой, в неживую природу и снова в организмы.

Период времени, в течение которого химический элемент проходит различные виды перемещений, превращений, возвращаясь в первоначальное физико-химическое состояние, называют периодом цикла круговорота вещества. Период цикла круговорота вещества длится различное время. Одни атомы переходят из организма в организм и неживую природу в течение миллионов лет. Период цикла в круговороте других атомов может достигать нескольких десятков лет или дней.

В качестве примера рассмотрим круговороты азота и углерода. Рассмотренные примеры дают схематичное представление о круговороте вещества, что связано с неполным знанием о количественных параметрах потоков биосферы и механизме трансформации отдельных элементов в природе.

Азот является важным элементом биосферы, так как входит в состав белков. Содержание азота в белках достигает 17 мас.%. В различных частях биосферы можно выделить несколько периодов цикла круговорота, различных по времени. Период цикла азота зависит от лабильности его соединений, способности перемещаться из одной части биосферы в другую. Наиболее медленный цикл связан с попаданием соединений азота в литосферу: месторождения угля, нефти, неорганических солей (нитраты щелочных металлов). Наличие химических веществ, содержащих азот в атмосфере, гидросфере вследствие относительно высокой скорости химических и биологических реакций, не сопровождающихся диффузионными

затруднениями, снижает время перемещения элемента из связанного состояния в свободный азот.

Круговорот азота обычно рассматривают с момента перехода свободного азота в связанный. Существует три основных маршрута фиксации азота: атмосферная, биологическая, промышленная. Атмосферная фиксация азота происходит под действием электрических разрядов – молний. На земном шаре каждую секунду происходит около двух тысяч молний, что обеспечивает поступление связанного азота в почву ежегодно до 15 кг на гектар.

Извержение вулканов и высокотемпературные процессы – второй источник перехода свободного азота атмосферы в связанный.

Биологическая фиксация происходит под действием бактерий, способных переводить азот в химические соединения.

Колонии бактерий образуют характерные наросты на корнях растений семейства бобовых: клевера, люпина, люцерны, гороха, фасоли. Питаясь соками растений, они переводят свободный азот атмосферы в азотные соединения, которые усваивает растение. Так, клевер и люпин поставляют до 150 кг в год связанного азота на гектар почвы.

Промышленная фиксация азота зависит от деятельности человека и вносит существенные изменения в круговорот азота в природе. При горении топлива, не содержащего соединений азота, кислород воздуха реагирует с атмосферным азотом.

Синтез аммиака, протекающий по реакции взаимодействия азота и водорода в специальных аппаратах, – второй путь искусственного связывания азота.

Сравнивая биологическую, атмосферную и промышленную фиксацию азота, необходимо отметить, что биологический способ получения соединений азота наиболее совершенный процесс, протекающий при обычных температурах и давлениях с высоким коэффициентом полезного действия.

Цикл круговорота азота замыкается переходом связанного азота в свободный. Этот процесс идет по двум основным маршрутам: биологическому и антропогенному.

В биологическом маршруте основная роль принадлежит денитрифицирующим бактериям, получающим необходимую для их жизни энергию окислением органических веществ кислородом воздуха.



При горении топлива часть соединений азота переходит в свободный азот. Применение взрывчатых веществ, содержащих кислородные соединения азота, также способствует выделению вещества в атмосферу.

Деятельность человека сильно изменила баланс потоков углерода между атмосферой, гидросферой, литосферой. Вырубая лесные массивы, заменяя их полями культурных растений, человек изменил масштабы усвоения диоксида углерода растениями. Развитие промышленности и потребление больших количеств газа, угля, торфа привело к выводу соединений углерода из литосферы в атмосферу.

Несмотря на частичную компенсацию потоков диоксида углерода (ускорение процессов выветривания), его содержание в атмосфере несколько возросло; влияние человека сводится к снижению периода цикла круговорота углерода, что необходимо учитывать при проведении экологической экспертизы.

Загрязнение атмосферы от антропогенных источников вызвало широкую миграцию соединений углерода в окружающей среде. Углеводороды, производные углеводородов через растения поступают в ткани животных, человека, начинают участвовать в обмене веществ, вызывая различные заболевания.

Проникая в стратосферу, соединения углерода могут изменить климат планеты, нарушая ее озоновый слой, тепловой баланс и другие параметры функционирования живых существ.

Озоновый слой разрушается под действием химических веществ, содержащих атомы хлора и фтора, а тепловой баланс изменяется при парниковом эффекте – непрозрачности для инфракрасного излучения соединений углерода и других веществ.

По прогнозу к 2050 г. нарушение теплового баланса Земли приведет к возрастанию температуры земной поверхности на 2°. Вклад соединений углерода составит для хлорпроизводных, диоксида углерода, алканов соответственно 0,5; 0,7; 0,4°.

Процессы, связанные с поступлением вредных веществ в экологические системы и нарушением баланса между компонентами природной среды, называют загрязнением окружающей природы.

Основными источниками загрязнений и вредных воздействий являются:

– энергетические устройства, сжигающие твердое, жидкое, газообразное, ядерное топливо;

- транспортные средства;
- промышленные и сельскохозяйственные предприятия;
- естественные природные процессы;
- бытовая деятельность человека.

Загрязнение природы приводит к выходу экологических систем из динамического равновесия и вызывает различные последствия, влияющие на условия функционирования живого вещества. Нарушается качественный и количественный состав атмосферы. Нарушение состава газовой среды изменяет углекислотный, кислородный балансы, разрушает озоновый слой, защищающий поверхность от коротковолнового ультрафиолетового излучения. Тепловой баланс оказывает влияние на климатические условия жизни людей, животных, растений. В водный бассейн поступают токсичные соединения органического и неорганического происхождения. Часть соединений трудно разлагается, начинает участвовать в обмене веществ живых организмов. Происходят мутации, увеличивается число заболеваний.

Твердые отходы засоряют поверхность Земли шлаками, золой, песком, породами обогатительных фабрик, другими промышленными и бытовыми отходами деятельности человека. Наблюдаются вторичное загрязнение воздушного, водного бассейнов. Достаточно отметить, что в 1960–1980 гг. потоки химических элементов и их миграция под воздействием человеческой деятельности превзошли естественную миграцию в десятки, а некоторых элементов в сотни и тысячи раз. Нарушение естественных потоков носит разрушительный характер для живого вещества. Перед человеком возникла задача определения роли науки, техники в развитии биосферы (техносферы).

Традиционное понимание научно-технического прогресса на основе увеличения объема производства, внедрения новых орудий труда, технологий, совершенствования организации производства, общественных отношений не может быть оправдано и не является правильным методом реализации устойчивого развития экологических систем.

Показателен следующий пример. Основные направления развития техники, производства в СССР до 1985 г. были сведены к следующим принципам:

- развитие производства на базе создания новых систем управления (автоматизированных систем управления);

- повышение удельных параметров работы оборудования, увеличение мощности, коэффициента полезного действия, снижение себестоимости продукции;

- применение модулей с унифицированными узлами и агрегатами;

- развитие производства новых материалов;

- применение лазерных, электрохимических, плазменных и других способов обработки металлов, материалов;

- использование безотходных и малооперационных технологических процессов;

- создание новых информационных систем;

- расширение масштабов реконструкции производств;

- увеличение доли возобновляемых источников энергии.

Перечисленные принципы развития общественного производства планировали обеспечить на основе достижений науки и техники. Так, в СССР к 1990 г. планировали увеличить выработку электроэнергии до 1,60 трлн кВт.ч, объемы нефти, угля довести соответственно до 645 и 800 млн т, существенно увеличить объем производства, не внедряя технологий по переработке вторичного сырья, отходов.

Анализ основных направлений развития СССР свидетельствует о том, что показатели строили не на принципах воспроизводства, сохранения среды обитания и способах реализации устойчивого развития систем, а на принципах интенсификации потоков биосферы.

Основной метод защиты природы заключается в создании технологий и производств (производство в широком понимании – промышленное, сельскохозяйственное), не нарушающих природных циклов и круговоротов в биосфере.

Создание безотходных и малоотходных технологий – одно из направлений защиты природы от загрязнения. Нельзя под безотходной технологией понимать систему с абсолютно замкнутыми материальными и энергетическими потоками. Создать такое производство невозможно. Безотходное производство – идеальная, неосуществимая модель. Любая технология является частью процессов, протекающих в биосфере. В таких системах обмен энергетическими потоками определен законами термодинамики, а обмен материальными потоками является основой производства, обеспечивая условия его функционирования. Целесообразно ввести

определение безотходной технологии как технологической системы, не нарушающей потоков вещества, энергии, информации, сохраняющей устойчивое развитие системы. Основные направления охраны природы:

- создание промышленных процессов, технологий с замкнутыми циклами материальных и энергетических потоков, не нарушающих круговоротов веществ, энергетических и информационных потоков биосферы;

- сохранение устойчивого, эволюционного развития природы.

Направления охраны биосферы конкретизируют по структурам промышленных производств:

- переработка производственных и бытовых отходов, их использование в качестве сырья;

- создание замкнутых водооборотных циклов на базе современных отходов очистки воды;

- очистка газовых выбросов, сохранение качественного и количественного состава атмосферы;

- контроль, регулирование, ограничение тепловых потоков в пределах нормативов, установленных для окружающей природной среды;

- установление нормативов на выбросы и сбросы вредных веществ.

Выбор в качестве главного критерия научно-технического прогресса устойчивого, эволюционного развития природы позволяет сформулировать определение научно-технического прогресса и указать основное направление развития общества – создание производственных, научных, технических, социально-политических, культурных систем, способных реализовать главную цель в развитии биосферы – ее устойчивость.

*Научно-технический прогресс – это высшая форма организации живой материи, с помощью которой природа осуществляет эволюционное, устойчивое развитие.*

Устойчивое развитие биосферы происходит как следствие совершенствования орудий труда, средств труда, производственных, социальных, политических, культурных отношений. По своей сути научно-технический прогресс – это движущая сила, основной фактор создания способа производства в широком понимании этого слова.

## 1.4. Рациональное использование энергии – основа устойчивого развития биосферы

Термодинамика устанавливает свойства систем (внутренняя энергия, теплота, работа), не прибегая к детальному рассмотрению процессов на молекулярном уровне, пользуясь специальными законами – началами термодинамики.

Существует несколько положений, касающихся применения начал термодинамики к биологическим процессам. Согласно одному из них, законы термодинамики не применяются для описания высших форм движения материи – биологического, общественного. Более высокая форма движения материи содержит в себе физические формы, но не сводится к ним.

Развитие высших форм движения материи зависит от факторов, которые прямо не связаны с параметрами термодинамики – внутренней энергией, теплотой, температурой, работой:

$$\delta Q = dU + \sum_{i=1}^N A_i da_i;$$

$$TdS \geq dU + \sum_{i=1}^N A_i da_i;$$

$$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0,$$

где  $Q$  – теплота системы, Дж/кмоль;  $U$  – внутренняя энергия, Дж/кмоль;  $T$  – температура, К;  $S$  – энтропия, Дж/кмоль·град;  $A_i$  – обобщенная сила;  $a_i$  – обобщенная координата;  $\Delta S$  – изменение энтропии процесса, Дж/кмоль·град.

Описание высших форм движения материи или их моделирование необходимо проводить с величинами, которые входят в основные законы развития биосферы.

Второй подход состоит в установлении границ термодинамики – размеров области экспертизы. Нижняя граница – молекулярные и субмолекулярные системы, верхняя – системы галактических размеров, в которых действуют дальнедействующие гравитационные силы.

Неправильная оценка границ применения термодинамики привела к появлению ошибочных теорий, касающихся развития биосферы. Так, в XIX в. Клаузиус выдвинул теорию «тепловой смерти» Вселенной. В противовес «тепловой смерти» Вселенной Больцман выдвинул «флуктуационную гипотезу», в которой жизнь рассмотрена с позиций теорий флуктуации – отклонений от равновесных параметров системы, действующих на молекулярном уровне.

Гипотезу Больцмана, так же, как и гипотезу Клаузиуса, следует признать ошибочной из-за неправомерного перенесения законов термодинамики на развитие высших форм движения материи.

Соотношение законов термодинамики и законов биосферы следует рассматривать в другой плоскости – в отношении энтропийных и энергетических потоков экологических систем.

Согласно принципу Больцмана, связь между энтропией и вероятностью нахождения системы в данном состоянии определена формулой

$$S = k \ln W,$$

где  $S$  – энтропия системы, Дж/кельвин·град;  $W$  – вероятность;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/моль·град.

В любой замкнутой системе энтропия в самопроизвольных процессах увеличивается. Система переходит из менее вероятного в более вероятное состояние. В биосфере по мере развития энтропия снижается вследствие усложнения процессов и явлений, что приводит к кажущимся противоречию со вторым началом термодинамики. В действительности противоречия нет, так как биосфера незамкнута и нестационарна. Экстраполировать влияние энтропийного фактора на системы больших размеров также нельзя – нарушаются условия границ применения термодинамики. Выход из этого положения указан Больцманом. Он выдвинул гипотезу, согласно которой закон возрастания энтропии связан с направлением времени в биологических процессах. Возрастание энтропии и направленность времени – явления взаимосвязанные. Время движется в том направлении, в котором возрастает энтропия. Направленность времени имеет объективное существование и указывает на развитие предметов, их постоянное изменение.

Из закона возрастания энтропии вытекает следующее следствие. Если в природе имеются системы, в которых самопроизвольно протекают процессы, сопровождающиеся снижением энтропии, то в них время имеет обратное направление.

Действие закона возрастания энтропии на биосферу проявляется в виде борьбы живых организмов с энтропией. Чем меньше размеры живого организма, тем труднее ему поддерживать энергетические и материальные балансы вследствие высокой удельной поверхности и большого избытка поверхностной энергии существа. Борьба с энтропией в эволюционном процессе приводит к увеличению размеров особей. Крупные существа с большой массой обладают большей независимостью от внешних условий, но на передвижение и функционирование организма они затрачивают значительное количество энергии. Вступают в противоречие два фактора – энтропия и размер живого организма, что приводит к вымиранию наиболее крупных особей и установлению оптимального равновесия.

Следующий фактор, косвенно связанный с энтропией и воздействующий на биосферу, – усвоение энергии живыми организмами и процессы перехода одной формы энергии в другую.

Практическая ценность энергии, получаемой человеком, определяется той ее частью, которая превращается в полезную работу. Мера превратимой энергии в полезную работу называют эксергией. Эксергия измеряется количеством механической или другой формы энергии, которое получено от данной системы в результате перехода из одного состояния в состояние равновесия с окружающей средой.

Предположим, в систему вводится 100 кДж эксергии – энергии, способной превратиться в работу, а выводится 40 кДж. Система потеряла 60 кДж эксергии. Суммарная величина потерь эксергии равна разности входящих и выходящих эксергий:

$$\mathfrak{E}^{\Pi} = \sum_{i=1}^N \mathfrak{E}_i^{\text{вх}} - \sum_{i=1}^M \mathfrak{E}_i^{\text{вых}} .$$

При обратимом процессе эксергетические потери всегда равны нулю, так как эксергия обладает свойством аддитивности:

$$\mathcal{E}^{\Pi} = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i^{\text{вх}} - \sum_{i=1}^M \mathcal{E}_i^{\text{вых}} = 0.$$

Определив потери эксергии, рассчитаем эксергический коэффициент полезного действия (КПД), характеризующий степень идеальности протекающих процессов:

$$\eta = 1 - \left( \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i^{\Pi} / \sum_{i=1}^M \mathcal{E}_i^{\text{вых}} \right).$$

Эксергия связана с термодинамическими функциями состояния:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S = \mathcal{E}_{\Phi}^I;$$

$$\Delta F = \Delta U - T \Delta S = \mathcal{E}_{\Phi}^{\Gamma};$$

$$\Delta X = \sum_{i=1}^N \Delta M_i n_i = \mathcal{E}_X,$$

где  $\mathcal{E}_{\Phi}$  – физическая эксергия, равная максимальной работе изобарно-изотермического или изохорно-изотермического потенциала;  $\Delta m_i$ ,  $n_i$  – изменение химического потенциала, число молей системы;  $\Delta H$  – энтальпия;  $\Delta U$  – внутренняя энергия;  $\Delta X$  – химический потенциал;  $\mathcal{E}_X$  – химическая эксергия, равная химическому потенциалу системы  $\Delta X$ ;  $\Delta G$ ,  $\Delta F$  – изобарный и изохорный потенциалы.

При совершении работы за счет кинетической или потенциальной энергии эксергия равна кинетической и потенциальной энергии:

$$\mathcal{E}_K = W_K; \quad \mathcal{E}_{\Pi} = W_{\Pi},$$

где  $\mathcal{E}_K$  – кинетическая эксергия;  $\mathcal{E}_{\Pi}$  – потенциальная эксергия;  $W_K$ ,  $W_{\Pi}$  – соответственно кинетическая и потенциальная энергия.

Суммарную систему эксергии находят по формулам:

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_K + \mathcal{E}_{\Pi} + \mathcal{E}_{\Phi}^I + \mathcal{E}_X \text{ – изобарно-изотермический процесс;}$$



$\Theta_2 = \Theta_K + \Theta_{\Pi} + \Theta_{\Phi}^2 + \Theta_X$  – изохорно-изотермический процесс.

Выразим величины эксергии через стоимости процессов ущерба экологической системе, оценим процесс с точки зрения экономики, т.е. проведем эксергический анализ:

$$C = \sum_{i=1}^N \Delta C_i \Theta_i + \sum_{i=1}^N K_i + \sum_{I=1}^N Y_i,$$

где  $C_i$  – стоимость единицы эксергии;  $\Theta_i$  – количество эксергии;  $K_i$  – затраты на производство эксергии;  $Y_i$  – ущерб экологической системе от реализации процесса.

Рассмотрев несколько вариантов, проводят оптимальное проектирование технологического процесса или предприятия из условия минимума стоимостных затрат:

$$\min C = \min \left\{ \sum_{i=1}^N \Delta C_i \Theta_i + \sum_{i=1}^N K_i + \sum_{I=1}^N Y_i \right\}.$$

Эффективность использования энергетических ресурсов зависит от коэффициента полезного действия преобразования одной формы энергии в другую (табл. 1.3).

Таблица 1.3

### Эффективность преобразования различных видов энергии

Вид преобразования энергии	КПД, %	Система преобразования
Тепловая в кинетическую	30–45	Турбина теплоэлектростанции, ракетный двигатель
Тепловая в электрическую	5–8	Термопара
Излучение в электрическую	10–15	Солнечная батарея
Электрическая в химическую	70–75	Аккумуляторная батарея
Химическая в электрическую	60–90	Топливный элемент, электрохимические источники тока
Электрическая в механическую	60–95	Электромотор
Механическая в электрическую	До 98	Электрогенератор
Химическая в тепловую	10–88	Печи, котлы, горелки

Существуют ограничения на преобразование теплоты в работу. Они обусловлены следствием из второго закона термодинамики, показывающим, что часть теплоты безвозвратно теряется.

В результате термодинамических ограничений в природе существует тепловая ловушка; избежать ее невозможно при любой схеме преобразования теплоты в работу. Поясним этот процесс, пользуясь методом термодинамических потенциалов. Для этого запишем уравнения максимальной работы системы:

$$- A_{\max} = F = \Delta U - T\Delta S \text{ – изохорно-изотермический процесс;}$$

$$- A_{\max} = G = \Delta H - T\Delta S \text{ – изобарно-изотермический процесс,}$$

где  $A_{\max}$  – максимальная работа, совершаемая системой, Дж/кмоль;  
 $F$  – изохорно-изотермический потенциал, Дж/кмоль;  $G$  – изобарно-изотермический потенциал, Дж/кмоль;  $\Delta S$  – энтропия, Дж/кмоль·град.

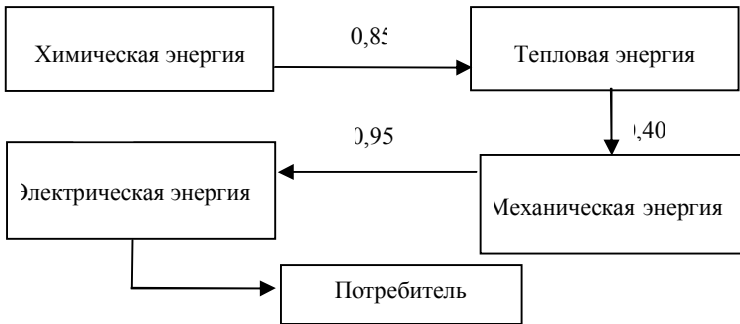


Рис.1.2. Схема получения электрической энергии на ТЭС

Количество теплоты, теряемое безвозвратно, равно произведению температуры на изменение энтропии – это связанная теплота. Применение термодинамических методов анализа позволяет оценивать эффективность преобразования различных форм энергии в тепловых процессах.

В качестве примера рассмотрим получение электрической энергии на тепловой электростанции (ТЭС). На ТЭС реализуется цепь превращенной энергии, изображенная на рис. 1.2. Химическая энергия,

запасенная в топливе, в результате горения переходит в тепловую энергию. Тепловая энергия переходит в механическую энергию движения турбины, а механическая энергия переходит в электрическую.

Рассмотренная цепь превращения приводит к суммарному коэффициенту использования энергии, запасенной в топливе, равному 32%:

$$\eta = 0,85 \cdot 0,40 \cdot 0,95 = 0,32.$$

На тепловой электростанции около 68% энергии теряется в окружающей среде, нарушая сложившийся тепловой баланс.

Источники энергии требуют энергетических затрат на переработку и добычу топлива. Эти затраты необходимо учитывать в коэффициенте полезного действия процесса. Рассмотрим процесс газификации угля и выработку электроэнергии из синтез-газа. Для расчета КПД процесса составим баланс теплоты по сгоранию продуктов газификации при постоянном давлении. В этих условиях теплота обладает свойством аддитивности:

$$\delta Q_i = dH,$$

где  $H$  – энтальпия процесса, кДж/кг.

Тепловой баланс газификации угля показан на рис. 1.3. Основные продукты газификации: синтез-газ, смолы, фенолы, аммиак, соединения серы.



Рис. 1.3. Тепловой баланс газификации угля

Коэффициент полезного действия электростанции, работающей на синтез-газе из газифицированного угля, равен 24%:

$$\eta = 0,85 \cdot 0,4 \cdot 0,95 \cdot 0,75 = 0,24,$$

где 0,75 – КПД газификации угля с учетом сгорания смол, фенолов, масел, аммиака, серы.

Электростанция, работающая на синтез-газе, имеет еще более низкий КПД:

$$\eta = 0,85 \cdot 0,4 \cdot 0,95 \cdot 0,6 = 0,19,$$

где 0,6 – КПД газификации угля без учета теплоты сгорания смол, фенолов, масел, аммиака, серы.

Составив тепловые балансы различных вариантов использования топлива, выбирают наиболее рациональный путь применения.

При работе атомной электростанции потребитель получает примерно 27% от общей энергии, выделяющейся при расщеплении ядерных материалов. Происходит это вследствие значительных затрат энергии на утилизацию и обезвреживание отходов, достигающих 30%, обогащение руды и компенсацию затрат на строительство – 15%.

Вопросы рационального использования энергии рассматривает энергетика. Энергетику относят к одной из форм природопользования. В перспективе количество получаемой энергии неограниченно, но энергетика имеет ограничения по тепловым потокам биосферы. Они зависят от баланса получения энергии, ее потерь, усвоения живыми организмами и неживой природой. В настоящее время суммарный баланс приходной и расходной частей энергии оценивается величиной порядка  $5,2 \cdot 10^{16}$  Вт. В процессе фотосинтеза из этого количества энергии усваивается  $1,4 \cdot 10^{14}$  Вт. Предполагаемое увеличение доли выделяемой энергии в биосфере свыше  $1,4 \cdot 10^{14}$  Вт кризисно отразится на ее развитии вследствие нарушения тепловых потоков и загрязнения окружающей среды.



Рис.1.4. Доля различных видов энергетических ресурсов в выработке первичной энергии

Из всей энергии, полученной в 80–90 гг. XX в. (рис.1.4), примерно четвертая часть расходовалась на транспортные нужды. Наиболее расточительный потребитель энергии – автомобиль. Автомобильный транспорт потребляет более половины всей энергии, расходуемой на транспортные нужды.

Принципы рационального использования энергии в промышленности и на транспорте осуществляют различными методами.

В промышленности главная задача – применение вторичных энергетических ресурсов, на транспорте – повышение коэффициента полезного действия по преобразованию тепловой энергии в механическую, но общие проблемы, характерные для энергетических устройств, можно сформулировать следующим образом:

- учет экономических последствий применения энергетических устройств;
- экономное расходование энергетических ресурсов;
- выбор наиболее рационального пути преобразования одного вида энергии в другой.

Решение перечисленных выше проблем сохраняет устойчивое развитие биосферы и не приводит к глобальным катастрофическим изменениям природы.

Рациональное применение энергии непосредственно связано с эффективностью источников энергии, используемых в различных процессах. Все источники энергии разделим на три большие группы:

- традиционные источники энергии;
- альтернативные источники энергии;
- смешанные источники энергии.

К традиционным источникам энергии относят гидроэлектростанции (ГЭС), ТЭС всех видов – угольные, нефтяные,

газовые, торфяные, атомные электростанции всех типов, двигатели внутреннего сгорания, теплоустановки.

Основные виды альтернативной энергетики включают гелиоэнергетику, биоэнергетику, ветроэнергетику, альтернативную гидроэнергетику, геотермальную энергетику.

В гелиоэнергетике энергия излучения солнца непосредственно превращается в другие формы энергии.

Основа биоэнергетики – производство биомассы, биосинтеза водорода, жидкого и газообразного топлива – биогаза. К биоэнергетическим установкам следует отнести мусоросжигающие станции.

В альтернативной гидроэнергетике используют энергию морских течений, приливов, волн.

Геотермальная энергетика развивается в направлении создания градиентных установок геотермальной энергии – разности температур глубин и поверхности моря, тепловых насосов.

Смешанные источники энергии – это атомно-водородные установки, солнечно-водородные устройства, использующие энергию солнца для получения водорода.

Альтернативные и смешанные источники энергии, несмотря на высокие эколого-экономические показатели, составляют незначительную долю от традиционных энергетических установок, но в перспективе роль альтернативных источников энергии будет возрастать, так как они более совместимы с экологическими системами.

## **1.5. Материальный баланс**

С целью выяснения причин загрязнения окружающей среды составляют материальные балансы источников выбросов и сбросов вредных веществ. В большинстве случаев проще и надежнее составить материальный баланс технологического процесса, чем использовать прямые методы измерения количества вредных веществ, которые не всегда доступны и эффективны вследствие больших затрат времени и материальных средств.

Уравнения материального баланса основаны на законе сохранения веществ, позволяют решать следующие задачи:

- определить массу токсичных веществ, попадающих в атмосферу, воду, почву;
- рассчитать концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах;
- рассчитать эксплуатационные характеристики очистных сооружений, технологических процессов, промышленных предприятий;
- выдать рекомендации и принять решения по вводу в действие природоохранных мероприятий.

Основные уравнения материального баланса следующие:

$$\sum_{i=1}^{k_1} M_i = \sum_{i=1}^{k_2} M_i^1 - \sum_{i=1}^{k_3} M_i^2; \quad \sum_{i=1}^{k_1} X_i = \sum_{i=1}^{k_2} \bar{X}_i^1 - \sum_{i=1}^{k_3} \bar{X}_i^2;$$

$$\sum_{i=1}^{k_1} Y_i = \sum_{i=1}^{k_2} Y_i^1 - \sum_{i=1}^{k_3} Y_i^2,$$

где  $M_i$ ,  $\bar{X}_i$ ,  $Y_i$  – соответственно масса, мольная доля, скорость накопления вещества в системе;  $M_i^1$ ,  $\bar{X}_i^1$ ,  $Y_i^1$  – соответственно масса, мольная доля, скорость поступления вещества в систему;  $M_i^2$ ,  $\bar{X}_i^2$ ,  $Y_i^2$  – соответственно масса, мольная доля, скорость выхода вещества из системы.

*Пример 1.* Определение расхода сточной воды с помощью метода индикатора. Задача формулируется следующим образом. Определить расход сточной воды с помощью введения индикатора в сток. В качестве индикатора используют краситель или любое вещество, которое достаточно просто анализируется в сточной воде. Для решения задачи составим материальный баланс сточной воды:

$$W_i \cdot C_\phi + W_0 \cdot C_0 = C_i \cdot W_x + W_0,$$

где  $W_x$  – расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;  $W_0$  – расход индикатора, постоянно вводимого в сток, м<sup>3</sup>/с;  $C_\phi$  – фоновая концентрация индикатора в сточной воде, кг/м<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрация индикатора в

растворе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C$  – концентрация индикатора в сточной воде после добавления раствора и его равномерного перемешивания со стоком,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Из уравнения материального баланса находим расход сточной воды:

$$W_x = W_0 \frac{C_0 - C}{C - C_\phi}.$$

Обычно применяют такой индикатор, которого нет в сточной воде ( $C_\phi = 0$ ):

$$W_x = W_0 \frac{C_0}{C - 1}.$$

*Пример 2.* Работа биологических очистных сооружений (рис.1.5).

За работой очистных сооружений следит химическая лаборатория. Из лабораторных анализов известно, что на очистку ( $A$ ) поступило 100 кг загрязненной воды. Вода содержит 4 мас.% твердых веществ, из них 70% – органические вещества, 30% – неорганические. Из отстойника ( $D$ ) удаляют суспензию, содержащую 6% твердых веществ, в том числе 50% органических. Составить баланс работы очистных сооружений.

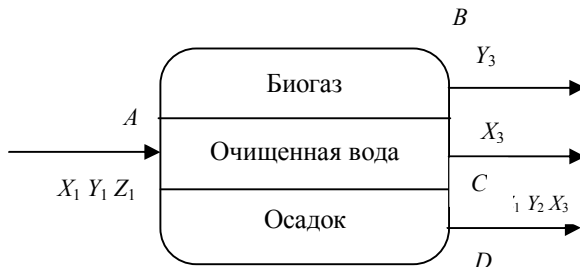


Рис.1.5. Схема работы биологических очистных сооружений

Для составления материального баланса входящие компонен-



ты – воду, органические, неорганические вещества – обозначим  $X_1, Y_1, Z_1$ . Входящие компоненты –  $Z_1, Y_1, X_2, X_3, Y_3$ . Составляем материальный баланс для точки  $A$ :

$$\begin{cases} X_1 + Y_1 + Z_1 = 100, \\ Y_1 + Z_1 = 4,0, \\ Y_1 = 2,8, \\ Z_1 = 1,2. \end{cases}$$

Материальный баланс для точки  $D$ :

$$\begin{cases} Z_1 + Y_2 = 0,06 \cdot (Z_1 + Y_2 + X_2), \\ Z_1 = 1,2, \\ Y_2 = 1,2. \end{cases}$$

Неорганические твердые вещества в биологических очистных сооружениях не разлагаются и выводятся с осадком. Такие вещества называются сквозными компонентами.

Материальный баланс для точки  $B$  означает, что биогаз образуется только из органических веществ:

$$Y_1 - Y_2 = Y_3.$$

Материальный баланс для точки  $C$

$$X_1 - X_2 = X_3.$$

Система уравнений материального баланса для очистных сооружений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 + Y_1 + Z_1 = 100, \\ Y_1 + Z_1 = 4, \\ Y_1 = 2,8, \\ Z_1 = 1,2, \\ Y_2 + Z_1 = 0,06(Z_1 + Y_2 + X_2), \\ Y_1 - Y_2 = Y_3, \\ X_1 - X_2 = X_3, \\ Y_2 = 1,2, \\ Z_2 = 1,2. \end{array} \right.$$

Решив систему уравнений, найдем параметры работы биологических очистных сооружений:

$$\left| \begin{array}{l} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} 9,6 \\ 2,8 \\ 1,2 \\ 3,76 \\ 5,84 \\ 1,2 \\ 1,6 \end{array} \right|$$

В табл. 1.4. отражены наименование, величина сырья, конечные продукты.

Таблица 1.4

**Материальный баланс биологических очистных сооружений**

Израсходовано	Получено
---------------	----------

Наименование сырья и продуктов	Содержание основного вещества	Масса вещества в %-ом отчислении	Наименование конечных продуктов отходов	Содержание основного вещества, %	Масса, кг, вещества в %-ом отчислении
Сточная вода	96	96	Очищенная вода	100	58,4
Органические вещества	2,8	2,8	Биогаз	–	1,6
			Органический осадок	3	1,2
Неорганические вещества			Неорганический осадок	3	1,2
			Вода с осадком	94	37,6
Итого	1,2	1,2			
	100	100	Итого	–	100

Составление уравнений материального баланса предполагает обработку имеющейся информации о процессе, которая состоит из следующих этапов:

- построение диаграммы или технологической схемы с учетом всех известных количественных параметров системы;
- нахождение граничных условий решения задачи;
- определение компонентов, которые проходят через систему не изменяясь (сквозные компоненты);
- составление уравнений материального баланса;
- решение системы уравнений;
- представление полученных результатов в табличной форме.

Результаты материального баланса отображают в виде таблицы, состоящей из приходной и расходной частей.

*Пример 3.* Составление материального баланса водоснабжения города питьевой водой.

В городскую систему водоснабжения поступает вода из артезианской скважины со скоростью  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Концентрация солей в воде равна  $10 \text{ кг}/\text{м}^3$ , поэтому часть воды пропускают через опреснительную установку. Из опреснительной установки вода идет в бак смешения с содержанием солей  $0,1 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Санитарные нормы содержания солей в воде –  $0,5 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Составить материальный баланс водоснабжения, если из опреснительной установки выходит рассол с концентрацией солей 40,5 кг/м<sup>3</sup>.

Обозначения:  $X_1$  – производительность опреснительной установки, м<sup>3</sup>/с;  $X_2$  – скорость вывода рассола из опреснительной установки, м<sup>3</sup>/с.

Система уравнений материального баланса имеет такой вид:

$$\begin{cases} 10 = (1 - X_1) \cdot 10 + 10X_1, \\ 10X_1 = 40.5X_2 + 0,1(X_1 - X_2), \\ 0,5(1 - X_2) = 10(1 - X_1) + 0,1(X_1 - X_2). \end{cases}$$

Необходимо обратить внимание на то, что система уравнений материального баланса составлена для трех точек, а число неизвестных равно двум, поэтому первое уравнение после преобразования превращается в тождество.

Преобразуем и решим систему уравнений с точностью до двух значащих цифр:

$$\begin{cases} 9,9X_1 - 40,4X_2 = 0 \\ 9,9X_1 - 0,4X_2 - 9,5 = 0 \\ X_1 = 0,97; X_2 = 0,24 \end{cases}$$

Для удобства интерпретации полученные данные представим в виде матрицы:

$$\begin{array}{c|c} 1 - X_1 & 0,03 \\ X_1 & 0,97 \\ X_2 & 0,24 \end{array}$$

В экологической системе материальные балансы составляют на основе приходных и расходных частей всех компонентов. Наиболее важные балансы экологических систем относятся к воде, питательным веществам, от которых зависит функционирование природы, отдельных элементов, участвующих в круговороте веществ.

Водный баланс составляют для круговорота воды в отдельном регионе или для планеты в целом; водохозяйственный баланс отражает количественное сопоставление водных ресурсов в пределах отдельного региона. Примеры других балансов экологических систем: газовый баланс, частный случай газового баланса – кислородный баланс; баланс экологических компонентов – количественное сочетание газов, воды, субстратов, растений-продуцентов, животных и других организмов, обеспечивающих экологическое равновесие определенного типа.

## **2. Мониторинг безопасности жизнедеятельности**

### **2.1. Классификация видов мониторинга**

Классификацию мониторинга осуществляют по различным признакам: по комплексу решаемых задач, объектам наблюдений, пространственному уровню, методам реализации (табл. 2.1).

*Таблица 2.1*

#### **Классификация видов мониторинга**

Признак классификации	Вид мониторинга
Универсальность системы	Глобальный экологический мониторинг (планетарный)
Компоненты биосферы	Мониторинг атмосферы, водного бассейна, почвы, геологический
Загрязнение природной среды	Химический, биологический, радиационный
Виды техногенного воздействия на природу	Мониторинг химических, биологических радиационных источников загрязнения
Методы наблюдений	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям, спутниковый (космический)
Комплексность наблюдений	Медико-биологический, биохимический, геофизический

В зависимости от освоения того или иного района (территории), в рамках которого осуществляется мониторинг безопасности жизнедеятельности, выделяют мониторинг городских территорий (населенных мест или городских агломераций); районов горнодобывающих и химических предприятий; районов гидротехнических сооружений; районов сельскохозяйственного и гидромелиоративного освоения; районов АЭС; районов транспортных линейных сооружений. Перечисленные виды, отражая специфику техногенной нагрузки на ту или иную территорию, являются, как правило, объектами для комплексных видов мониторинга безопасности жизнедеятельности. От того, какими службами организован мониторинг безопасности жизнедеятельности, выделяются два вида: государственный (федеральный) и отраслевой (ведомственный). Первый планируется, заказывается и организуется централизованно государственными (федеральными) правительственными органами управления: министерствами, государственными комитетами и так далее, второй организуется по инициативе отдельных ведомств (например, транспортных, нефтедобывающих) и отраслей промышленности. Отраслевые системы мониторинга должны быть составными частями государственной (федеральной) системы, а не самостоятельными службами.

В зависимости от ранга организации и масштаба исследований мониторинг безопасности жизнедеятельности может быть детального, локального, регионального, национального (государственного) и глобального уровня. В соответствии с рассмотренными выше определениями видов мониторинга, отличающимися друг от друга объектами наблюдения, можно говорить о простых и сложных (комплексных) системах мониторинга.

Локальный мониторинг окружающей среды предназначен обеспечить оценку изменения окружающей среды под влиянием действующего или проектируемого объекта. Ответственными за организацию локального мониторинга являются органы местного самоуправления.

Локальные системы объединяются в более крупные системы регионального мониторинга окружающей среды, охватывающие территории края, области или нескольких краев и областей. Региональный мониторинг окружающей среды предназначен обеспечить оценку изменений окружающей среды территорий

комплексного антропогенного освоения. Он базируется на государственных источниках информации. Ответственными за организацию регионального мониторинга являются органы государственной власти субъектов Российской Федерации. Система регионального мониторинга реализована в пределах одного государства в единую национальную (государственную) сеть мониторинга и образует, таким образом, национальный уровень системы мониторинга.

Система национального (государственного) уровня мониторинга окружающей среды является необходимой предпосылкой для соблюдения законодательства в области охраны недр и экологии; систематического контроля за состоянием всех компонентов окружающей среды; обеспечения эффективной и экологически безопасной инженерно-хозяйственной деятельности. Государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг) осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации. Порядок организации и осуществления государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) устанавливается правительством Российской Федерации.

В рамках экологической программы ООН поставлена задача объединения национальных систем мониторинга в единую межгосударственную сеть – Глобальную систему мониторинга окружающей среды. Ее назначение – осуществление мониторинга за изменениями в окружающей среде на Земле в целом, в глобальном масштабе. Глобальный мониторинг – это система слежения за состоянием и прогнозирование возможных изменений общемировых процессов и явлений, включая антропогенные воздействия на биосферу в целом. Глобальная система мониторинга окружающей среды призвана решать общечеловеческие экологические проблемы в рамках всей Земли, такие, как глобальное потепление климата, вопросы сохранения озонового слоя, прогнозирование землетрясений, опустынивания и эрозии почв, наводнений, засухи, сохранение лесов и т.д.

Составной частью Федеральной службы России по мониторингу окружающей среды наряду с мониторингом биосферы, атмосферы, гидросферы, почвы является мониторинг геологической среды.

Формирование единой национальной системы мониторинга России является одной из задач Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также республиканских, областных и краевых комитетов по охране природы Российской Федерации. Кроме того, в создании единой федеральной системы мониторинга окружающей среды заинтересована и Межведомственная комиссия Совета Безопасности Российской Федерации по экологической безопасности, образованная Указом Президента Российской Федерации № 812 от 25 апреля 1994 г.

## **2.2. Мониторинг промышленной безопасности**

Актуальность проблемы обеспечения экологической и промышленной безопасности особенно возрастает на современном этапе социально-экономических преобразований и развития производительных сил, когда из-за трудно предсказуемых социальных, техногенных и экологических последствий чрезвычайных ситуаций возникает угроза существованию человеческого общества.

В России общий экономический ущерб от аварий техногенного характера превышает 2,0 млрд руб. в год. Проблема предупреждения техногенных происшествий и аварийности приобретает особую актуальность в атомной энергетике, химической промышленности, при эксплуатации военной техники, где используются мощные источники энергии, экологически опасные высокотоксичные и агрессивные вещества.

Система обеспечения промышленной и экологической безопасности основана на организационных, управленческих и технических принципах.

Значительное место в проблеме обеспечения промышленной и экологической безопасности занимает оценка безопасности при нормальной эксплуатации путем мониторинга на производственном объекте. Объектом мониторинга и аудита промышленной и экологической безопасности является комплекс взаимодействий в системе человек — машина — природа, а предметом изучения безопасности — закономерности возникновения и предупреждения происшествий при функционировании таких систем.



Одним из принципов системы обеспечения промышленно-экологической безопасности является ее декларирование. В Федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ предусмотрена разработка декларации промышленной безопасности, предполагающая всестороннюю оценку риска аварий и связанной с ним социально-экономической и экологической угрозы на основе мониторинга и аудита безопасности объекта.

Мониторинг и анализ риска аварий на опасных производственных объектах является составной частью управления промышленно-экологической безопасностью. Мониторинг риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Результаты мониторинга и анализа риска используют при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной и экологической безопасности, обосновании технических решений по обеспечению безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности, оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду.

Основные задачи мониторинга и анализа риска аварий на опасных производственных объектах заключаются в следующем:

- информации о состоянии промышленной и экологической безопасности объекта;
- сведениях о наиболее опасных местах объекта с точки зрения безопасности;
- обоснованных рекомендациях по уменьшению риска.

Для проведения мониторинга и анализа риска, установления его допустимых пределов в связи с требованиями безопасности и принятия управляющих решений необходимы:

- наличие информационной системы, позволяющей оперативно контролировать существующие источники опасности и состояние объектов возможного поражения;
- сведения о предполагаемых направлениях хозяйственной деятельности, проектах и технических решениях, которые могут

влиять на уровень техногенной и экологической безопасности, а также программы для вероятностной оценки связанного с ними риска;

- экспертиза безопасности и сопоставление альтернативных проектов и технологий, являющихся источниками риска;

- составление прогнозов и аналитическое определение уровня риска, при котором прекращается рост числа техногенных и экологических поражений.

Мониторинг опасностей начинают с предварительного исследования, позволяющего идентифицировать источники опасности. На стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска.

Качественные методы мониторинга опасностей и риска позволяют определить источники опасностей, потенциальных аварий и несчастных случаев, последовательность развития событий, пути предотвращения аварий (несчастных случаев) и смягчения последствий.

Качественные методы анализа опасностей включают:

- предварительный анализ опасностей;
- анализ видов и последствий отказов;
- анализ опасности и работоспособности;
- анализ ошибок персонала;
- причинно-следственный анализ;
- анализ «дерева отказов»;
- анализ «дерева событий»;
- количественный анализ риска.

Предварительный анализ опасностей включает перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей, повреждающие факторы, потенциальные аварии, выявленные недостатки. Изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы и устанавливают их повреждающие свойства.

### **2.3. Химическая и добывающая промышленность**

В России зарегистрировано примерно 3600 химических опасных объектов. По различным оценкам 146 городов с населением 100 тыс. человек расположены в зонах повышенной химической опасности. С 1992 по 1996 г. произошло более 250 аварий с выбросом опасных химических веществ, во время которых пострадали более 800 и погибли 69 человек. Более 25% аварий произошло из-за эксплуатации оборудования сверх нормативного срока, коррозии оборудования и неработоспособности контрольно-измерительной аппаратуры.

Одним из важных компонентов разных отраслей промышленности горнохимического сырья и промышленного производства являются так называемые промышленные сточные воды, имеющие специфический состав в отличие от бытовых сточных вод.

Промышленные сточные воды – это жидкие отходы промышленного производства, содержащие различные химические вещества. Попадая тем или иным путем в геологическую среду, сточные воды загрязняют ее различными компонентами. В связи с этим они должны находиться в сфере повышенного внимания в системе мониторинга геологической среды. Разнообразие типов промышленных производств определяет многокомпонентность состава этих сточных вод. Для каждой отрасли промышленности характерно присутствие в сточных водах свойственных этой отрасли химических соединений. Насчитывают тысячи химических веществ, которые могут находиться в сточных водах. Среди них минеральные и органические соединения разных классов: соли, кислоты, щелочи, спирты, альдегиды, кетоны, хлор-, фосфор- и металлоорганические соединения, радиоактивные изотопы.

Промышленность горнохимического сырья, включающая в себя все виды обогащения полезных ископаемых, чрезвычайно многообразна, разнохарактерна и оказывает существенное влияние на геологическую среду. В горнохимической промышленности есть некоторые виды, приводящие к региональным изменениям геологической среды.

В табл. 2.2 представлены средние данные о размерах зон влияния горнодобывающих и обогатительных предприятий.

*Таблица 2.2*

### Размеры зон влияния горнодобывающих предприятий

Источник (или способ) воздействия	Размеры зоны влияния	
	Площадные, км <sup>2</sup>	Линейные, км
Открытая разработка, ГОКи, терриконы, хвостохранилища	0,1–100	0,1–20
Подземная скважинная и специальная разработка, водопонижение	0,1–10000	–
Сбросы шахтных вод и ГОКов, дражные и гидромониторные способы разрушения пород	10–100	5–70
Закачка в недра реагентов, смешение вод разных горизонтов	1–100	1–10

Наиболее распространенными химическими веществами, поступающими в промышленные сточные воды, являются минеральные удобрения, пестициды, нефтепродукты, синтетические моющие вещества, а также биологические виды загрязнения: дрожжи, белки, ферменты и микроорганизмы. По действию на организм человека промышленные сточные воды могут обладать общетоксическим, онкогенным, аллергенным, мутагенным, эмбриотоксическим и другими эффектами, в связи с чем контроль за сбросами промышленных сточных вод осуществляется органами санитарной службы. Особенно опасно присутствие в промышленных сточных водах наиболее вредных для организма человека веществ, например соединений ртути, свинца, мышьяка, цианидов, онкогенных соединений, провоцирующих раковые заболевания.

Промышленные сточные воды, как и другие стоки, оказывают наибольшее влияние на санитарное состояние поверхностных водоемов, а также прилегающих к ним водоносных комплексов и горизонтов подземных вод. К спуску их в водоемы предъявляются санитарно-гигиенические требования, регламентируемые Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Промышленные сточные воды, особенно сильнозагрязненные, проходят предварительную очистку на локальных очистных сооружениях, а затем, как правило, подвергаются очистке на

общегородских станциях аэрации совместно с бытовыми сточными водами. С целью контроля за сбросами промышленных сточных вод в водоемы для предприятия устанавливают нормативы мощности сброса – предельно допустимый сброс (ПДС). Предельные допустимые сбросы устанавливают на основании гигиенических требований и нормативов качества воды. Величины ПДС предприятий на данной территории должны быть заложены в информационную базу мониторинга геологической среды данной территории и корректироваться в ходе мониторинга.

При разработке месторождений полезных ископаемых с использованием средств гидромеханизации формируются специфические техногенные массивы из намывных грунтов, образующих упорные призмы, а также гидроотвалы и хвостохранилища. Намывной массив представляет собой сложную изменяющуюся во времени систему, для обеспечения устойчивости которого, установления закономерностей изменения его состояния и разработки управляющих решений и рекомендаций по рациональной технологии его формирования организуется локальный и детальный мониторинг – литомониторинг намывного массива. Его организация проводится аналогично организации литомониторинга горнодобывающего комплекса.

На первом этапе проводится оценка фонового состояния системы геологическая среда – намывной массив. Анализируют основные группы факторов: физико-географические (рельеф, климат, поверхностные воды), инженерно-геологические (геологическое строение основания и тела сооружения, состав и свойства пород), гидрогеологические (обводненность основания, наличие водоносных горизонтов, условий питания и разгрузки, эффективность дренажных устройств в намываемом массиве). Проводят также анализ технологических факторов (методы гидровскрышных работ или переработки минерального сырья, способы возведения дамб и намыва, интенсивность намыва, динамические и статические нагрузки). Влияние этих факторов носит комплексный характер.

На втором этапе осуществляется выбор методов, позволяющих контролировать состояние системы намывной массив – геологическая среда в любой момент времени.

На третьем этапе выполняется организация наблюдений, их систематическое проведение и обработка результатов.

Четвертый этап заключается в установлении закономерностей изменения и прогнозе состояния системы.

На пятом этапе используются результаты прогноза состояния системы для корректировки проектных решений по их формированию.

По указанной схеме осуществляется мониторинг других природно-технических систем в районах горнохимического производства, территорий ТЭЦ и золоотвалов, рудников, карьеров и разрезов.

*Нефтяная и газовая промышленность.* Основными свойствами геологической среды нефтегазовых месторождений, которые надо учитывать при организации мониторинга, является присутствие в разрезе двух несмешивающихся жидкостей – нефти и подземных вод, а также существенное влияние на горные породы жидких и газовых углеводородных компонентов. Главная особенность в нефте- и газодобывающих комплексах состоит в техногенной нагрузке на геологическую среду, когда происходит взаимодействие процессов отбора из недр полезных компонентов.

Одним из воздействий, оказываемых на геологическую среду в районах нефтяных и газовых месторождений, а также нефтеперерабатывающих предприятий, является химическое загрязнение следующих основных видов: углеводородное загрязнение; засоление пород и подземных вод минерализованными водами и рассолами, получаемыми попутно с нефтью и газом; загрязнение специфическими компонентами, в том числе сернистыми соединениями. Загрязнение пород, поверхностных и грунтовых вод часто сопровождается истощением естественных запасов подземных вод. В некоторых случаях истощению могут подвергаться и поверхностные воды, используемые для заводнения нефтяных пластов. В морских условиях возрастает масштаб угрозы загрязнения акваторий как искусственными (реагенты, применяемые при бурении и эксплуатации скважин), так и естественными загрязнителями (нефть, рассолы). Основная причина химического загрязнения на нефтяных месторождениях – низкая культура производства и несоблюдение технологий. Поэтому в наблюдательной сети мониторинга геологической среды районов нефтегазовых месторождений одна из основных нагрузок падает на геохимические наблюдения, контроль загрязнений.

При локальном загрязнении геологической среды нефтью и жидкими углеводородами от мелких источников загрязнения (нефтяных скважин, нефтехранилищ, складов горюче-смазочных материалов, АЗС, автобаз) образуется ареал нефтяного загрязнения. В процессе формирования ареала загрязнения углеводородами, кроме того, формируются абиотическая и биотическая зоны. В биотической зоне протекают основные биохимические процессы деструкции нефтяных углеводородов, которые находятся как в эмульгированном, так и в растворенном состоянии. В эмульгированном слое преобладают восстановительные условия, которые сменяются окислительными в зоне миграции растворенных углеводородов, где развиваются в основном микроорганизмы из числа анаэробов и факультативных анаэробов. В окислительных условиях биодеструкция углеводородов осуществляется аэробными микроорганизмами. При биодеструкции углеводородов выделяется в основном метан, углекислый газ и сероводород. Указанные особенности ареалов нефтяного загрязнения необходимо учитывать при организации наблюдательной сети мониторинга.

Среди физических нарушений геологической среды в районах нефте- и газодобычи следует отметить проявления просадок, оседаний и провалов земной поверхности, а также подтоплений. Возможное развитие этих негативных инженерно-геологических процессов также должно являться предметом изучения в системе мониторинга геологической среды.

Специфика изменений геологической среды на нефтегазовых месторождениях вызывает необходимость использования в наблюдательной сети мониторинга и специфических методов, позволяющих контролировать изменения и различные процессы, происходящие на больших глубинах. Вследствие этого среди методов наблюдений в сети мониторинга наибольший удельный вес составляют различные геофизические и дистанционные методы.

Мониторинг районов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности должен быть комплексным, учитывающим способы добычи полезных ископаемых и их переработки, а также особенности изменений геологической среды, и охватывать все системы объектов наблюдения, контроля и управления.

## **2.4. Мониторинг районов**

## гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения вносят существенные изменения в окружающую природную и геологическую среду. Поэтому организация систем мониторинга на территориях, прилегающих к гидротехническим сооружениям, является актуальной задачей. В России выполняемые наблюдения за процессами взаимодействия строящихся и построенных гидротехнических сооружений с геологической средой не носят системного характера, а использование их результатов для установления закономерностей развития такого взаимодействия и совершенствования научного прогнозирования неудовлетворительно.

При организации мониторинга геологической среды в районах крупных гидротехнических сооружений в первую очередь необходимо учитывать их конструктивные особенности и размещение. Гидротехнические сооружения (гидроузлы) состоят, как правило, из комплекса сооружений: энергетических (ГЭС), транспортных (каналы, водоводы, шлюзы). При комплексном использовании рек в состав гидроузлов входят также и различные вспомогательные сооружения (перемычки, дороги, ЛЭП, жилищные поселки).

Особенности изменений геологической среды районов гидротехнических сооружений определяются инженерно-геологическими условиями территорий и типом гидротехнического сооружения. Строительство ГЭС с водонапорными или вододерживающими плотинами всегда связано с созданием водохранилищ. Местоположение створа плотины выбирают с учетом многих условий, среди которых одно из первостепенных состоит в том, чтобы при равных положениях нормального подпорного уровня воды у плотины ограничить до минимума площадь затопления и подтопления прилегающих к водохранилищу территорий, населенных пунктов. Зона влияния водохранилища пропорциональна размеру площади его зеркала воды. Наиболее крупные водохранилища образуются при строительстве ГЭС на равнинных реках. Так, площадь Рыбинского водохранилища на Волге составляет 4,6 тыс.км<sup>2</sup>, Куйбышевского – 5,6 тыс.км<sup>2</sup>, Волгоградского – 3,5 тыс. км<sup>2</sup>.

Для различных крупных гидротехнических сооружений область техногенного воздействия на геологическую среду начинает формироваться уже на начальных этапах строительства. Область



взаимодействия построенной плотины и массива горных пород охватывает больший объем пород, чем в период строительства гидротехнического сооружения. При этом нельзя рассматривать воздействие только одной плотины на массив пород, не учитывая одновременно воздействия на него и водохранилища. Воздействие на массив горных пород оказывают совместно плотина, масса воды в водохранилище, фильтрационный поток в обход примыканий и в основании плотины, подтопление склонов долины, взвешивающее воздействие воды. Общая зона воздействия будет определяться наложением, или взаимодействием, зон разуплотнения-уплотнения пород, областью колебания естественных и искусственных уровней подземных вод, зоной возможных фильтрационных деформаций, зоной ослабления устойчивости склона.

При организации мониторинга в районах крупных гидротехнических сооружений основными общими задачами исследований являются определение границ области влияния сооружений на геологическую среду; выявление участков, активно реагирующих на техногенное воздействие гидротехнических сооружений; установление основных причин, изменяющих свойства и состояние пород в области их взаимодействия с сооружением. Изучают также влияние различных факторов на природу - сооружений или условий производства строительных работ, вырабатывают критерии безопасности работы, проводят контроль природных и техногенных процессов, прогноз и предупреждение опасных геодинамических процессов.

В зоне влияния водохранилищ возникает комплекс неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений, которые должны быть в центре внимания наблюдательной сети мониторинга. Среди них необходимо выделить следующие процессы. Затопление территорий городов, населенных пунктов, дорог, сельскохозяйственных площадей; продолжительное затопление территорий в периоды половодий и паводков, подтопление территорий и расположенных на них сооружений в результате развития подпора уровня подземных вод; заболачивание территорий, а в районах недостаточного увлажнения – засоление почв и грунтов в результате подпора подземных вод; переливы через низкие водоразделы, вызывающие периодические затопления, заболачивание низких территорий; подмыв, разрушение берегов и их переработка под

действием ветровых волн; повышение сейсмической активности территорий в связи с искусственным обводнением горных пород в верхних горизонтах земной коры (особенно в горно-складчатых областях).

При организации мониторинга геологической среды необходимо учитывать изменения, которые происходят в массиве горных пород, прежде всего в основании плотины и гидротехнических сооружений при их строительстве и эксплуатации. Геологические процессы в горных породах связаны с изменением напряженного состояния пород основания температурным режимом пород; с фильтрационными деформациями зданий и сооружений ГЭС вследствие возможной активизации карстовых процессов, эрозии.

Развитие карста с образованием крупных провальных форм отмечалось для каскада ГЭС в районе Ангары на расстоянии 0,5 – 1 км от берега водохранилищ, а в редких случаях – на расстоянии до 8 км от берега. Общая площадь пораженности карстовыми процессами в районе Братского водохранилища превышает 460 км<sup>2</sup>.

По данным долгосрочных наблюдений за изменением свойств пород скального основания арочной плотины Ингурской ГЭС, установлено, что в период строительства плотины существенное уплотнение пород происходило до глубин 50–80 м. После наполнения водохранилища уплотнение пород зафиксировано до 500–800 м, а для плотины до 250 м.

Лучше изучены глубина зоны сжатия и ее конфигурация в основании плотин, построенных на глинистых грунтах. О степени сжатия пород можно, как известно, судить по осадкам поверхности земли.

Так, на участке плотины Волжской ГЭС, возведенной на глинах, воронка осадки распространилась на 0,6–0,7 км в стороны от сооружения. Работы по оценке глубины зоны сжатия пород в основании плотины показали, что за 16 лет эксплуатации породы ниже глубины 30–37 м не претерпели изменений плотности или влажности.

Наблюдения на Саратовской ГЭС свидетельствуют о том, что глубина зоны влияния распространяется на 50 м. Детальные геофизические наблюдения показывают, что фактические перемещения поверхности под нагрузкой от водохранилищ, как правило, незначительны: поперечник воронки оседания обычно менее 10 км, а максимальная осадка менее 10 см.

Важнейшая особенность формирования указанных изменений геологической среды, которая должна учитываться при организации мониторинга, – их длительность. Например, на большинстве волжских водохранилищ установившийся режим подземных вод в зоне их влияния сформировался только через 5–10 лет, а подпор грунтовых вод распространился на расстояния до 10–15 км (за исключением зоны влияния Каховского водохранилища). Ежегодные сезонные колебания уровня воды в водохранилище на 2–3 м сказываются на режиме уровней грунтовых вод на расстоянии до 300–700 м для песчаных и супесчаных грунтов, на расстоянии до 150–250 м – для суглинистых пород.

Оценка подтопленности территорий при организации сети мониторинга проводится в соответствии с действующими нормативными и методическими документами. Влияние подтопления на территории характеризуется глубиной залегания грунтовых вод. Выделяют следующие подзоны:

1) подзона сильного подтопления или заболачивания (глубина залегания грунтовых вод от 0 до 0,3–0,7 м; содержание воды в почвах и грунтах 70–100% полной влагоемкости);

2) подзона умеренного подтопления (глубина залегания грунтовых вод от 0,3–0,7 до 1,2–2,0 м);

3) подзона слабого подтопления (грунтовые воды залегают на глубине от 1,2–2,0 до 2–3 м в гумидных условиях и до 5 м – в аридных). Зона влияния измененного гидрологического режима в нижних бьефах гидроузлов сезонного и многолетнего регулирования распространяется на несколько сотен километров вниз по течению реки, при суточном регулировании – на 80–100 км.

Для крупных гидротехнических сооружений, построенных как в равнинных, так и в горных областях, зона изменения свойств горных пород распространяется в среднем на глубины до 50–100 м, а в плане прослеживается на расстояния до 1 км от сооружения.

Для ликвидации перечисленных опасных и неблагоприятных процессов в зонах водохранилищ проводят защитные мероприятия: создают системы инженерной защиты территорий, главным образом от процессов подтопления. С этой целью возводят дамбы обвалования, проводится подсыпка или намыв территорий, возводятся берегоукрепительные сооружения, строится система дренажей, дополнительных каналов. Все эти объекты обязательно должны

включаться в наблюдательную сеть мониторинга геологической среды, так как они располагаются на участках наибольшего техногенного влияния гидроузла на геологическую среду. Во многих районах на таких объектах, как и на самих ГЭС, организованы режимные наблюдения. Они также должны включаться в систему мониторинга.

Таким образом, основными факторами, которые необходимо учитывать при создании систем мониторинга геологической среды районов гидротехнических сооружений, являются:

учет типа сооружений и особенностей инженерно-геологических условий территорий;

организация мониторинга на весь каскад взаимосвязанных гидроузлов;

учет особенностей различных зон техногенного влияния гидроузла при организации наблюдательной сети;

учет и включение в структуру мониторинга системы инженерной защиты и режимной сети.

## **2.5. Мониторинг и оценка загрязненности почвы**

Для решения задач сохранения почвы, осуществления гигиенических и природоохранных мероприятий проводят мониторинг и ранжирование почв по степени опасности их загрязнения химическими веществами. На основании мониторинга и ранжирования осуществляют комплексные мероприятия по охране почв и рекультивации земель, при разработке схем районной планировки, гигиенической оценке почв в районах урбанизации.

Результаты гигиенических исследований почв, загрязненных тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими веществами позволили разработать методику оценки загрязнения почвы вредными веществами по уровню возможного воздействия на системы «почва – растение», «почва – микроорганизмы, биологическая активность», «почва – грунтовые воды», «почва – атмосферный воздух» и опосредованно на здоровье человека.

С гигиенических позиций опасность загрязнения почвы химическими веществами определяется уровнем отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты и опосредованно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения.

Основным критерием гигиенической оценки опасности загрязнения почвы вредными веществами является предельно допустимая концентрация (ПДК) химических веществ в почве – комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве. ПДК отражают все возможные пути опосредованного воздействия загрязнителя на контактирующие среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения. Каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания веществ по каждому показателю вредности.

Оценку опасности загрязнения почв проводят с учетом специфики источников загрязнения, приоритетности загрязнителей в соответствии со списком ПДК химических веществ в почве классом опасности, характером землепользования.

При отсутствии возможности учета всего комплекса химических веществ, загрязняющих почву, оценку осуществляют по токсичным веществам, относящимся к более высокому классу опасности.

В случае отсутствия в приведенных документах класса опасности химических веществ, приоритетных для почв обследуемого района, их класс опасности может быть определен по индексу опасности.

Отбор проб почвы, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу осуществляется в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб почвы для химического, бактериологического и гельминтологического анализа».

При оценке опасности загрязнения почв химическими веществами следует учитывать, что опасность загрязнения тем больше, чем больше фактические уровни содержания контролируемых веществ в почве ( $C$ ) превышают ПДК. Опасность загрязнения почвы тем выше, чем больше значение коэффициента опасности ( $K_0$ ) превышает 1:

$$K_0 = C/\text{ПДК}$$

Оценка опасности загрязнения должна проводиться с учетом буферной способности почвы, влияющей на подвижность химических

элементов. Буферная способность почвы определяет воздействие вредных веществ на микроорганизмы, растения, животных, человека. Чем меньшими буферными свойствами обладает почва, тем большую опасность представляет ее загрязнение химическими веществами. Следовательно, при одной и той же величине  $K_0$  опасность загрязнения будет больше для почв с кислым значением рН, меньшим содержанием гумуса и более легким механическим составом. Например, если  $K_0$  вещества оказались равными в дерново-подзолистой супесчаной почве, в дерново-подзолистой суглинистой почве и черноземе, то в порядке возрастания опасности загрязнения почвы могут быть расположены в следующий ряд: чернозем < суглинистая дерново-подзолистая почва < супесчаная дерново-подзолистая почва.

Под «буферностью почвы» понимается совокупность свойств почвы сохранять ее параметры на одном уровне, определяющих ее буферную функцию.

Предлагаются различные оценки опасности загрязнения почв населенных пунктов и почв, используемых для выращивания сельскохозяйственных растений.

Основой оценки опасности загрязнения почв, используемых для выращивания сельскохозяйственных растений, является транслокационный показатель вредности, являющийся важнейшим показателем при обосновании ПДК химических веществ в почве. Это обусловлено тем, что с продуктами питания растительного происхождения в организм человека поступает около 70 % вредных химических веществ.

Уровень транслокации определяет уровень накопления вредных веществ в продуктах питания, влияет на их качество. Существующая разница допустимых уровней содержания химических веществ по различным показателям вредности и основные положения дифференциальной оценки степени опасности загрязненных почв позволяют также дать рекомендации по практическому использованию загрязненных территорий.

*Пример.* Почвы территории загрязнены никелем, содержание подвижных форм которого составляет в первой 20 мг/кг (1) и во второй – 5 мг/кг (2). Почва (1) должна быть отнесена к категории «чрезвычайно высокого» загрязнения, так как уровень содержания никеля превышает допустимые уровни содержания этого элемента по

всем показателям вредности: транслокационному, миграционному водному и общесанитарному. Такая почва может быть использована только под технические культуры или полностью исключена из сельскохозяйственного использования.

Почва (2) может быть отнесена к категории «умеренно загрязненной», так как содержание никеля (5 мг/кг) превышает его ПДК

(4 мг/кг), но не превышает допустимого уровня по транслокационному показателю вредности (6,7 мг/кг). В этом случае почва может быть использована под любые сельскохозяйственные культуры при одновременном осуществлении мероприятий по снижению уровня содержания никеля.

Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования, загрязненных химическими веществами, основана на категории загрязненности почв.

#### 1. Допустимая категория.

Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК. Почва используется под любые культуры.

#### 2. Умеренно опасная категория.

Содержание химических веществ в почве превышает ПДК по лимитирующему, общесанитарному, миграционному водному и воздушному показателю вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю. Такую почву используют под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений.

#### 3. Высоко опасная категория.

Содержание химических веществ в почве превышает ПДК по лимитирующему транслокационному показателю вредности. Почву используют под технические культуры. Использование под сельскохозяйственные культуры ограничено с учетом растений-концентраторов.

#### 4. Чрезвычайно опасная категория.

Содержание химических веществ превышает ПДК по всем показателям вредности. Возможно использование под технические культуры. Почву следует полностью исключить из сельскохозяйственного использования. Рекомендуются создание защитных полос.

Оценка опасности загрязнения почвы населенных пунктов определяется эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы, ролью загрязненной почвы как источника вторичного загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, значимостью степени загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха.

Необходимость учета безопасности почвы населенных пунктов обуславливается тем, что с увеличением химической нагрузки возрастает эпидемическая опасность почвы. В загрязненной почве на фоне уменьшения представителей почвенных микробиоценозов (антагонистов патогенной кишечной микрофлоры) и снижения ее биологической активности отмечается увеличение патогенных энтеробактерий и геогельминтов, которые были более устойчивы к химическому загрязнению почвы, чем представители естественных почвенных микробиоценозов.

Оценка неблагоприятных последствий загрязнения почв при воздействии на человека важна при играх детей на загрязненных почвах. Такая оценка разработана по наиболее распространенному в населенных пунктах загрязняющему веществу – свинцу, содержание которого в почве, как правило, сопровождается увеличением содержания других элементов. Содержание свинца в почве игровых площадок на уровне 500 мг/кг способствует изменению психоневрологического статуса детей.

По данным изучения распределения в почве некоторых металлов – наиболее распространенных индикаторов загрязнения городов, может быть дана ориентировочная оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха. Так, при содержании свинца в почве, начиная с 250 мг/кг, в районе действующих источников загрязнения наблюдается превышение его ПДК в атмосферном воздухе ( $0,3 \text{ мкг/м}^3$ ), при содержании меди в почве, начиная с 1500 мг/кг, наблюдается превышение ее ПДК в атмосферном воздухе ( $2,0 \text{ мкг/м}^3$ ).

Оценку уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводят по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются: коэффициент концентрации химического



вещества ( $K_c$ ), который определяется отношением его реального содержания в почве ( $C$ ) к фоновому значению ( $C_{\phi}$ ):

$$K_c = C/C_{\phi}.$$

Следующий параметр называют суммарным показателем загрязнения ( $Z_c$ ). Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов:

$$Z_c = \sum K_0.$$

Формула расчета класса опасности вещества для почвы ( $J$ ) имеет следующий вид:

$$J = \lg (A \cdot S) / (a M \text{ПДК}),$$

где  $A$  – атомный вес соответствующего элемента;  $M$  – молекулярный вес химического соединения, в который входит данный элемент;  $S$  – растворимость в воде химического соединения (мг/л);  $a$  – среднее арифметическое из шести ПДК химических веществ в разных пищевых продуктах (мясо, рыба, молоко, хлеб, овощи, фрукты); ПДК – предельно допустимая концентрация элемента в почве.

## **2.6. Мониторинг территорий населенных мест и городских агломераций**

На территориях большинства современных городов значительное влияние на геологическую среду оказывают техногенные воздействия, что обусловливается высокой концентрацией предприятий промышленности, энергетики, транспорта и жилищно-коммунального хозяйства. Вследствие этого создание в пределах городских агломераций локальных и детальных систем мониторинга является одной из первоочередных и актуальных задач.

Для правильной и рациональной организации мониторинга урбанизированных территорий необходимо учитывать основные особенности изменений геологической среды в пределах городов,

связанные с современными тенденциями развития городского строительства. К ним относятся:

- рост крупных городов-мегаполисов, окруженных городами-спутниками;

- освоение под городское строительство неудобий (заболоченных участков, свалок, засыпанных оврагов и др.) из-за дефицита полезной площади;

- все увеличивающиеся тенденции освоения подземного пространства;

- усиление динамического воздействия на грунты, которое не характерно для малых городов;

- возрастание этажности зданий и как следствие этого – повышение требований к устойчивости сооружений.

Современный город представляет собой крупный населенный пункт, выполняющий сложные жилищные, промышленные, организационно-хозяйственные, транспортные, управленческие, культурные функции и др. Помимо территории, ограниченной административной границей, город отторгает у природной среды значительные площади, лежащие в отрыве от городской черты, отчуждаемые под различные сооружения.

Городская территория по структурно-функциональному признаку подразделяется на ряд самостоятельных функциональных зон: селитебную (заселенную людьми) и внеселитебную. Внеселитебная зона делится на промышленную (производственную), коммунально-складскую, санитарную, рекреационную (садово-парковую), зону отдыха, внешнего транспорта, прочих земель. Все эти зоны взаимодействуют друг с другом и тесно связаны. Функциональное зонирование позволяет при планировке населенных пунктов выбирать территорию для размещения селитебных зон с наветренной стороны по отношению к промышленным объектам, прогнозировать рассеивание промышленных выбросов в приземных слоях атмосферы и определять величину санитарно-защитных зон. При этом в первую очередь учитывается роза ветров – график направлений ветра на данной территории.

Для современного города наибольшая по площади территория приходится на долю селитебной зоны – 42%, на долю промышленной – 18%, прочих земель – 14%, внешнего транспорта – 10%,

рекреационной зоны – 8%, коммунально-складской – 6%, санитарной – 2%. Для правильной планировки наблюдательной сети мониторинга среды города необходимо выявить пространственную дифференциацию освоенности территорий с учетом качественных и количественных характеристик.

Многоплановая хозяйственная деятельность на территориях городов очень сильно изменяет первоначальное состояние геологической среды, в результате чего возникают различные негативные инженерно-геологические процессы и явления с отрицательными экологическими последствиями.

Территории городов испытывают, как правило, существенные антропогенные изменения рельефа, хотя общий морфологический облик историко-генетического комплекса рельефа может и сохраняться. Для оценки измененности рельефа на территории города могут применяться различные количественные показатели и градации. Чаще всего для этого используют три степени измененности рельефа: сильно измененный; частично измененный; практически неизменный.

Основными тенденциями антропогенного изменения рельефа территорий городов являются: выравнивание поверхности (планировка рельефа), достигающее значительных площадей; уничтожение микрорельефа (балок, русел ручьев и мелких рек, овражной сети и др.); уменьшение глубины и густоты расчленения рельефа; снижение уклонов поверхности рельефа. В целом все это приводит к общему снижению энергии рельефа и упрощению структуры водосборных бассейнов, что, в свою очередь, вызывает уменьшение склонового транзита, интенсивности поверхностного стока, естественной эрозии.

На территории города существенно меняются гидрогеологические условия в основном в результате интенсивной эксплуатации подземных и поверхностных вод на промышленные и хозяйственные нужды. При этом в местах водозаборов формируются глубокие депрессионные воронки, происходит изменение гидрохимического режима подземных вод и их загрязнение. Наиболее крупные депрессионные воронки (с понижениями в центре водозабора до 80–100 м и более и радиусом, превышающим 100 км) образуются при эксплуатации на территориях городов глубоких водоносных горизонтов артезианских бассейнов, таких, как Московский, Днепровско-Донецкий, Прибалтийский. Глубина депрессионных

воронки достигает в Лондоне 100 м, в Киеве 65 м, в Москве около 50 м. Площадь депрессионной воронки на территории Москвы занимает 50 тыс. км<sup>2</sup>, максимальное понижение уровня, по данным Л.С. Язвина и других (1988), достигает 120 м. Крупные депрессионные воронки радиусом около 40 км и понижением до 60 м образовались в Азово-Кубанском бассейне. В районе Санкт-Петербурга пьезометрический уровень в гдовском горизонте снизился на 80 м, радиус депрессионной воронки увеличился до 50 км, площадь — до 16 тыс. км<sup>2</sup>. Над депрессионными воронками подземных вод почти всюду сформировались пологие мульды оседания, их площадь в городах изменяется от долей квадратных километров до 3500 км<sup>2</sup>.

Под влиянием водоотбора на территории города могут возникать и активизироваться различные карстово-суффозионные процессы, проявляющиеся на поверхности земли провальными воронками. Такие процессы отмечены на территории Москвы и в других городах, где есть соответствующие геологические условия. В этом случае среди основных факторов, формирующихся в результате интенсивного водоотбора подземных вод, отмечается увеличение скоростей фильтрации и интенсивности изменения величины гидростатического давления в результате снижения пьезометрических уровней. Это приводит к переформированию источников восполнения запасов подземных и поверхностных вод и изменению естественного гидродинамического, гидрохимического и температурного режимов вод, а также к изменению экологической и медико-биологической обстановки в городе.

В городах часто развивается и техногенное подтопление территорий. Так, в Томске им охвачено 2,7 тыс. га (или 28%) территории города. При этом широко распространенные здесь лёссовидные суглинки утрачивают просадочные свойства, уменьшается их прочность, деформируемость возрастает в 1,5–2 раза.

Для отражения на картах зон техногенного подтопления территорий могут использоваться различные как относительные (например, коэффициент пораженности территории подтоплением), так и абсолютные показатели (скорость подъема уровня грунтовых вод, м/год; время подъема уровня воды на застроенных территориях до глубин 2–3 м от поверхности земли, лет). Как правило, подтопление охватывает всю застроенную территорию городов, которая по категориям опасности может быть подразделена на очень опасные,

опасные и слабо опасные участки. Таким образом, зоной влияния в этом случае оказывается вся территория города.

Среди различных видов техногенного воздействия на геологическую среду города самым распространенным является статическое механическое воздействие от сооружений – уплотнение грунтов оснований. Это приводит к формированию вокруг каждого здания и сооружения осадочной воронки, глубина которой колеблется от 1 до 600 см (чаще 10–20 см). Радиус воронки обычно выходит за пределы наружного периметра здания, характеризует зону его влияния и достигает 50–120 м. При плотной застройке одиночные осадочные воронки смыкаются, а под городом в целом формируется крупноплощадная депрессионная поверхность в виде чаши оседания сотообразного строения.

Строительство и эксплуатация метрополитена в городах приводят к развитию процессов сдвижения пород и образованию мульд проседания. Ширина мульд над перегонными туннелями изменяется от 40 до 200 м, над подземными станциями – от 160 до 300 м.

Вибрационное воздействие на территории городов, создаваемое в основном автомобильным транспортом, линиями метро, трамваев и железных дорог, при исследованиях на локальном, а также и на детальном уровне может оцениваться по данным А.Д. Жигалина и Г.П. Локшина (1991). Они считают, что пороговыми значениями вибрации, предельно допустимыми уровнями ее воздействия на геологическую среду с учетом экологических последствий является уровень вибрации, оцениваемый по виброскорости в размере 0,0004 м/с (78 дБ) и по виброускорению – 0,05 м/с<sup>2</sup> (44 дБ). Можно выделить три уровня интенсивности воздействия на геологическую среду города: низкий (менее 46 дБ), средний (46–73 дБ), высокий (свыше 73 дБ). Размеры зоны влияния некоторых источников вибрации на территории города представлены в табл. 2.3.

*Таблица 2.3*

**Размеры зоны влияния некоторых источников вибрации  
на территории города**

Источник	Основная частота, Гц	Зона действия, м
----------	----------------------	------------------

Вибрационный каток	10–30	До 40
Автомобильная магистраль	10–20	40–100
Линия метро	30–60	60–120
Механический копер	15–35	150–250
Трамвайная линия	20–45	150–300
Железная дорога	10–30	150–300

Для городских транспортных автомагистралей с интенсивным транспортным потоком и высоким уровнем вибрации (65 дБ) автотранспортное вибрационное воздействие затухает до городских фоновых значений (для Москвы в районе Ленинского проспекта достигает 46 дБ) на расстоянии 20 м от оси полотна. Вибрационное воздействие, создаваемое в городе железнодорожными магистралями, в среднем распространяется на расстояния до 50 м от оси железной дороги.

Длительное динамическое воздействие на грунты может приводить к нарушению твердого покрытия магистралей, к деформациям и разрушению фундамента зданий вблизи магистралей и рельсовых путей.

В зависимости от типа грунтов вибрационное воздействие на них может приводить к снижению сопротивления сдвигу, разрушению структурных связей, тиксотропному разупрочнению, разжижению и другим негативным процессам, которые должны учитываться в сети мониторинга.

Тепловое загрязнение как следствие теплового воздействия проявляется в возникновении так называемого теплового купола над городом, на общем фоне которого формируются отдельные участки аномального прогрева грунта и грунтовых вод. Его формированию способствует сплошная застройка городской территории, покрытие асфальтом или бетоном открытой поверхности. Тепловое воздействие в городах на локальном уровне проявляется чаще всего и как результат влияния сточных техногенных вод, утечек из теплотрасс. С этим связано образование геотермической аномалии вокруг Москвы с повышением температуры на 3–5°С по сравнению с фоновой. Максимальный рост температуры в Москве отмечен для четвертично-мезозойского водоносного комплекса (выше на 14°С и более), а площадь этой тепловой аномалии почти в 1,5 раза превышает площадь самого города.

В меньшей степени, но на значительной площади может проявляться тепловое воздействие полигонов ТБО и прочих свалок, вокруг которых также формируются тепловые аномалии. Кроме того, на территории городов отепляющее воздействие оказывают здания всех типов и асфальтовое покрытие, при этом площадь отепляющего воздействия принимается равной площади асфальтового покрытия.

Как правило, область воздействия тепла от городских теплосетей, водопровода и канализации возможна на расстоянии до 20 м по обе стороны от оси коллектора при минимальных утечках. Тепловые аномалии на территории городов формируются на глубинах до 300 м с превышением температуры над фоновой до 1,5–3 раз.

Температурные аномалии приводят к изменению содержания газовой составляющей подземных вод, к интенсификации процессов взаимодействия в системе вода–порода, приводящих к увеличению агрессивности грунтов, к развитию микрофлоры и активизации микробиологических процессов, к изменению ряда свойств глинистых пород, в том числе к увеличению их сжимаемости, снижению вязкости и резкому снижению прочности. В зоне аэрации под воздействием избыточного тепла происходит локальное просушивание грунтовых массивов, приводящее к изменению их структуры и физико-механических свойств, в случае глинистых грунтов при их высушивании развивается тепловая усадка.

В городских районах криолитозоны формируются зоны теплового влияния в радиусе до 15–30 м от сооружения, охватывая верхнюю часть грунтовой толщи. Наибольшее влияние на изменение геокриологического состояния грунтов оказывают подземные коммуникационные коллекторы. Протаивание грунтов в основании коллектора достигает глубины 5–7 м, в горизонтальном направлении оно может распространяться на 8–10 м от оси коллектора; в этой зоне возникают провальные явления. В районах криолитозоны учет тепловых воздействий на геологическую среду города выступает на первый план при организации наблюдательной сети мониторинга.

Город со своей развитой промышленностью и коммунально-бытовой деятельностью оказывает сильное геохимическое воздействие на геологическую среду, выражающееся в перераспределении, концентрировании и рассеивании огромных масс химических веществ и элементов как природного, так и техногенного происхождения. На больших площадях в пределах города формируются техногенные

геохимические поля – взаимоувязанные в пространстве зоны повышенных или пониженных по сравнению с фоновыми или кларковыми концентрациями химических элементов. Самым значимым с эколого-геологической точки зрения проявлением этого перераспределения является химическое загрязнение компонентов геологической среды: почв, грунтов, подземных вод. Это вызывает необходимость при организации мониторинга геологической среды уделять внимание химическому и другим видам техногенного загрязнения.

Химическим загрязнением охвачены все площади современных городов и крупных населенных пунктов поселкового и городского типа. В крупных городах загрязнение геологической среды проникает на глубину до 50–100 м, но наиболее сильно в пределах города происходит загрязнение поверхности грунтов, почв и поверхностных вод. Поверхностный сток урбанизированных территорий транспортирует загрязняющие вещества, главным источником которых являются сточные воды. При сбросе этих вод в природных водных системах формируются зоны загрязнения с широким набором химических элементов, аккумулирующихся в донных отложениях. Донные отложения при этом образуют устойчивые зоны загрязнения с высокой концентрацией различных химических элементов. Отмечается индивидуальный специфический характер наиболее резко концентрирующихся элементов для разных типов промышленности. Основными элементами загрязнения донных осадков являются ртуть, серебро, кадмий, свинец. Протяженность зон загрязнения в донных осадках области влияния крупного промышленно-урбанизированного центра достигает 20–25 км.

Поверхностное загрязнение с наибольшей интенсивностью происходит в почвах, снеговом покрове и верхней части грунтов зоны аэрации. Очаги химического загрязнения почв и снега в городах имеют определенную геохимическую зональность: наибольшая концентрация отмечается вблизи источника загрязнения, к периферии она постепенно снижается. Максимальный уровень загрязнения наблюдается около предприятий цветной и черной металлургии и различных приборостроительных предприятий, меньший – в зоне влияния машиностроительных и химических предприятий. Спектр химических элементов-загрязнителей чрезвычайно широк: практически во всех аномалиях отмечается накопление свинца, меди,



цинка, олова, вольфрама, молибдена, хрома и ртути. Как правило, площади центров полиэлементных аномалий в 1,7–2 раза больше площади промышленных зон.

Поверхностное загрязнение почв и грунтов от ТЭС распространяется на 5–7 км, предприятий химической и нефтехимической промышленности — на 3–5 км. Так, у нефтеперерабатывающего завода в Капотне (Москва) радиус зоны загрязнения около 5 км. Для бассейна Верхней Колымы зоны запыления от ТЭС прослеживаются на расстояния до 100 км вдоль долин. Формирующиеся вокруг ТЭС золоотвалы также являются источниками поверхностного загрязнения грунтов и почв. На территориях, прилегающих к золоотвалам ТЭС, в год оседает от 36 до 485 т пыли на 1 км<sup>2</sup>, а дальность ее переноса (зона влияния) в направлении господствующих ветров достигает 30 км.

Вокруг населенных пунктов криолитозоны в зимний отопительный период формируются ареалы поверхностного загрязнения грунтов и почв сажей и пылью площадью от 20 до 40–45 км<sup>2</sup>. Контуры этих ареалов согласуются с формой розы ветров.

Выбросы автомобильного транспорта концентрируются на расстоянии 50–100 м от шоссе, в результате чего в этой зоне почвы и грунты сильно загрязнены тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Таким образом, современный город имеет специфическую мозаичную геохимическую структуру, сформировавшуюся стихийно, которая фиксируется полиэлементными геохимическими полями, центры которых приурочены к различным источникам антропогенного загрязнения. По времени действия источников загрязнения в городах выделяют четыре типа территорий: устойчивого, реликтового, современного загрязнения и территории, где загрязнение отсутствует. Устойчивое загрязнение устанавливается по совпадению очагов загрязнения во всех компонентах природной системы и соответствует наличию техногенного геохимического поля. Реликтовое загрязнение фиксируется наличием техногенной геохимической аномалии только в одном из компонентов геологической среды (например, в почвах) и не подтверждается аномальными концентрациями в атмосфере. Территории, где обнаруживается техногенная аномалия только в атмосфере, относятся к категории нового современного загрязнения.

В городах развивается и биологическое загрязнение (микробиологическое) грунтов и подземных вод. Общее биологическое загрязнение грунтов от работы городского коллектора, состоящего из теплотрассы, водопроводной и канализационной сети, может распространяться на расстояние до 20 м по обе стороны от оси коллектора. В результате развития микроорганизмов в условиях интенсивного загрязнения геологической среды возникают различные негативные явления. Примером негативного антропогенного воздействия, включающего и биохимическое загрязнение, служат свалки различных отходов. При аэробном разложении внутри свалок накапливаются растворенные органические вещества сложного состава. Просачивающиеся через свалки поверхностные воды приобретают агрессивность из-за подкисления этими соединениями и могут растворять карбонатные породы, вызывать коррозию подземных сооружений. В случае плохой аэрации происходит активное выделение таких газов, как аммиак, сероводород, метан и др. Высокие концентрации аммиака способствуют бурному развитию нитрифицирующих микроорганизмов, для которых источником энергии служит реакция окисления аммиака в азотную кислоту. Эта группа микроорганизмов способна интенсивно разрушать стены и фундаменты зданий, расположенных вблизи свалок. Повышенное выделение сероводорода губительно сказывается на живых организмах, усиливает коррозию металлов, повышает агрессивность грунтов и подземных вод. Если внутри свалки накапливается в избытке метан, то, распространяясь в прилегающих почвах, грунтах и подземных водах, он угнетает растительность за счет массового развития метилотрофных бактерий и микроорганизмов, резко снижающих концентрацию кислорода в среде, который расходуется на окисление метана.

К территориям, примыкающим к городу, приурочены обычно такие источники загрязнения окружающей среды, как различные склады химических веществ и сырья, очистные сооружения, поля орошения, полигон твердых бытовых отходов. Поверхностное загрязнение (химическое и биохимическое) распространяется от полигонов на расстояние до 3 км, а загрязнение грунтовых вод охватывает площади: 1 км<sup>2</sup> – крупные полигоны ТБО с объемом отходов до нескольких миллионов кубических метров; 0,5 км<sup>2</sup> – средние полигоны ТБО (сотни тысяч кубических метров); до 5 га –

мелкие полигоны ТБО (десятки тысяч кубических метров). При этом биохимический разогрев толщи бытовых отходов обуславливает развитие тепловых аномалий с температурой до 50°C и радиусом до 30 м и более.

Сточные воды городских территорий относятся к категории бытовых, что определяет особенности их состава и санитарно-гигиенические характеристики. В их составе преобладают: продукты обмена веществ в организме человека, остатки пищи, мыла, синтетических моющих средств и других продуктов бытовой химии. Для них характерно также загрязнение микрофлорой (кишечной палочкой, возбудителями дизентерии, вирусных заболеваний и др.). Бытовые сточные воды характеризуются интенсивным запахом, значительной мутностью и окраской, присутствием значительного количества взвешенных веществ и плавающих примесей, низкой прозрачностью, наличием пены, высокими значениями ХПК и коли-индекса. Наиболее частый способ удаления сточных вод – сброс в водоемы, что является основной причиной их загрязнения, а также загрязнения прилегающей части окружающей среды. В крупных городах для очистки стоков служат станции аэрации, включающие комплекс очистных сооружений – решетки, песколовки, отстойники, аэротенки или биофильтры, метантенки и др. В целях охраны водоемов от загрязнений рекомендуется также применение бытовых сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения.

Поля орошения – это земельные участки, подготовленные для биологической очистки бытовых сточных вод. Принцип почвенного метода очистки сточных вод основан на естественной способности почв к биохимическому окислению поступающих в нее органических веществ до простых соединений, усваиваемых растениями. Процесс протекает в аэробных условиях и осуществляется в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Современные поля орошения делятся на группы: коммунальные поля орошения, на которых санитарно-технические задачи сочетаются с выращиванием сельскохозяйственных культур; поля фильтрации, где осуществляется биологическая очистка осветленных сточных вод путем фильтрации через почвенные горизонты без использования их в сельскохозяйственных целях; сельскохозяйственные поля орошения, представляющие собой специализированные гидромелиоративные системы.

Наилучшими по эффективности использования для полей орошения являются легкие песчаные или супесчаные почвы. Поверхность поля разбивают на участки (карты) площадью от 0,5 до 16 га и ограждают земляным валом высотой 0,8–1,0 м. Поверхность карт оставляют ровной или нарезают бороздами. Оросительная сеть состоит из трубопроводов, отстойников, насосной станции, регулирующих емкостей, каналов и разводящей поливной сети. Подача воды на поля происходит самотеком по открытым каналам.

Суточные нормы нагрузки для коммунальных полей орошения составляют от 15 до 50 м<sup>3</sup>/га. С ростом городов, резким увеличением количества сточных вод поля орошения оказались большей частью перегруженными и перестали отвечать своему главному назначению – очистке и обезвреживанию вод. На полях орошения стали осуществлять только фильтрацию сточных вод без их использования для выращивания сельскохозяйственных культур. Такие участки в отличие от полей орошения называют полями фильтрации, на них механически очищенные сточные воды летом подаются в карту сплошным заливом слоем 20–30 см, зимой – до 75 см. После фильтрации сточной жидкости в почву и верхний слой грунта поверхность карты перепахивают и снова заполняют сточной водой и т.д. На коммунальные поля орошения сточные воды поступают по полосам и бороздам. Суточные нормы нагрузки для полей фильтрации составляют от 40 до 125 м<sup>3</sup>/га. В настоящее время при градостроительстве устройство новых полей фильтрации ограничено и целесообразно только как временная мера.

В крупных промышленных городах, самым мощным загрязнителем кроме органики, являются также соединения серы, которые входят в состав выбросов почти всех промышленных предприятий. Сернистые соединения, попадая в почвы, грунты и воду, вовлекаются в цикл превращений в аэробном и анаэробном комплексах микробиологической системы. В анаэробной зоне образующийся сероводород вызывает коррозию металлов, образуя сульфиды. В аэробной зоне развиваются тионовые бактерии, вызывающие сернокислотное выветривание горных пород, кислотную коррозию металлических сооружений и строительных материалов, растворение карбонатных пород. Следует отметить, что многие геохимические процессы, происходящие на территории города с участием микроорганизмов, еще до конца не изучены.

При организации наблюдательной сети мониторинга за микробиологическими процессами в геологической среде города на первом этапе исследований, сопоставляя условия жизнедеятельности микроорганизмов с физико-химической обстановкой среды их обитания, можно составить карту-схему для территории города с выделением на ней возможных микробиологических процессов. На ней могут быть выделены следующие зоны:

1) зона, характерная для промышленных и примыкающих к ним селитебных районов с интенсивным загрязнением органическими веществами и соединениями серы; зона кислых и слабокислых грунтовых вод с высоким содержанием сульфат-иона, катионов металлов, растворенных органических веществ; зона интенсивной кислотной коррозии и выветривания; в анаэробной зоне возможна сероводородная коррозия металла с осаждением сульфидов;

2) зона, характерная для селитебных районов, удаленных от промышленной зоны; реакция среды слабокислая, нейтральная и слабощелочная; опасность коррозионных процессов возрастает в зонах утечек из канализации и в прогреваемых грунтах у теплопроводов;

3) зона, характерная для районов пищевой промышленности (главным образом мясо-молочной) и бывших сельскохозяйственных угодий; в грунтовых водах присутствует нитратное загрязнение, реакция среды нейтральная, слабощелочная, щелочная; в анаэробных условиях возможны процессы аммонификации и денитрификации с выделением аммиака и окислов азота; в аэробных условиях возможна кислотная коррозия сооружений вблизи очагов выделения аммиака, обеспечивающего развитие нитрификаторов;

4) зона, характерная для районов с интенсивным поступлением органических загрязнений со свалок и с полей орошения; реакция среды нейтральная; возможны процессы коррозии и угнетения растительности вблизи свалок;

5) зона, характерная для лесопарковой территории с фоновым развитием микробиологических процессов.

Радиационное загрязнение в городах, к сожалению, происходит как результат преступного, халатного обращения с радиоактивными компонентами и неконтролируемого выброса радиоактивных источников на городские свалки. Обнаружение каждого такого очага или источника загрязнения на территории города является чрезвычайным событием, а сам очаг подлежит экстренной проверке

СЭС и немедленной ликвидации. В связи с этим городским санитарно-эпидемиологическим надзором регулярно проводится радиометрическая съемка потенциально опасных территорий в целях оперативного обнаружения радиоактивных очагов загрязнения.

Для создания обоснованной системы мониторинга городской территории или городской агломерации должна быть последовательно выполнена серия операций, включающая: анализ инженерно-геологических условий территории города и ее типизацию; анализ и типизацию техногенного воздействия; выявление характера и интенсивности изменений геологической среды и ее компонентов; оценку количественных показателей состояния геологической среды и ее изменения.

## **2.7. Мониторинг районов АЭС**

Развитие атомной энергетики, увеличение мощностей АЭС и строительство многоблочных крупных энергетических комплексов приводят к изъятию под их строительство значительных территорий. В процессе эксплуатации АЭС используются большие объемы водных ресурсов, возникают дополнительные тепловые и радиационные воздействия на окружающую среду, активизируются некоторые опасные геодинамические процессы, что вызывает характерные изменения в различных звеньях природной системы. В силу этого в районах размещения АЭС формируются специфические природно-техногенные комплексы, отличающиеся определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими к негативным эколого-экономическим последствиям. Затраты на восстановление естественного равновесия в таких комплексах обычно бывают чрезвычайно высоки.

Поэтому организация мониторинга геологической среды районов АЭС – дело первостепенной важности. В задачи мониторинга геологической среды районов АЭС входят:

- 1) прогноз развития геологической среды и ее элементов;
- 2) разработка рекомендаций и управляющих решений по оптимизации работы всей природно-технической системы (ПТС);
- 3) повышение надежности функционирования ПТС и экологической безопасности АЭС.

Разносторонние многолетние наблюдения за работой АЭС как в России, так и за рубежом показывают, что объектам атомной энергетики присущ специфический комплекс техногенных воздействий на геологическую среду, который обязательно должен приниматься во внимание при организации мониторинга в районах АЭС. Эти воздействия можно объединить в несколько групп: 1) нарушение водного баланса; 2) изменение состояния и свойств пород в основании сооружений АЭС; 3) повышение активности тепломассопереноса; 4) загрязнение окружающей среды радиоактивностью.

Техногенное нарушение водного баланса в зоне влияния АЭС вызвано, как правило, резким снижением испарения под влиянием застройки и асфальтирования, усилением инфильтрации поверхностного стока, утечками из водных коммуникационных систем и водохранилищ, подпором естественных потоков подземных вод и связано прежде всего с большими объемами технологического водопотребления на АЭС. Указанные нарушения естественного водного баланса бывают столь велики, что даже при активной естественной дренированности территории они значительно превышают влияние гидролого-климатических факторов (в том числе периодов с повышенной водностью года). Интенсивное техногенное питание подземных вод способствует быстрому повышению уровней грунтовых вод на расстоянии 3–5 км и более от АЭС со скоростью 1,2–2,0 м в год. При расположении АЭС на водораздельных пространствах с глубинами до зеркала грунтовых вод около 10–15 м их площадки могут быть отнесены к практически подтопляемым территориям. Эти обстоятельства должны учитываться при организации наблюдательной сети мониторинга геологической среды, а постоянно действующая модель в системе мониторинга должна быть направлена на моделирование гидрогеологических условий территории.

Активная роль воды при изменении водного баланса территории АЭС проявляется и в изменении состояния, состава и свойств грунтов в основании сооружений АЭС. При их дополнительном водонасыщении возможны процессы снижения прочности, набухания глинистых грунтов, фильтрационных деформаций, просадки лёссовых грунтов и т.д. В зависимости от конкретных инженерно-геологических условий территории АЭС интенсивность и специфика проявления этих изменений в грунтах оснований могут быть различными, что также

должно учитываться в системе мониторинга геологической среды. Особое внимание должно уделяться слабым и структурно неустойчивым грунтам (глинам, лёссам, заторфованным грунтам и т.п.).

Следующий фактор влияния на геологическую среду территорий АЭС – техногенное тепловое воздействие, которое возникает вследствие конструктивных особенностей различных сооружений АЭС и систем охлаждения атомного реактора. В результате этого с изменением водного и теплового баланса верхней зоны пород происходит повышение активности теплопереноса и формируется контур геоэнергетического теплового взаимодействия системы объектов АЭС с геологической средой. Большинство объектов АЭС характеризуется значительным тепловыделением в окружающую среду преимущественно в виде стока в местную гидрографическую сеть (сброс горячих вод). Повышение температуры инфильтрующихся техногенных вод по сравнению с естественными подземными водами создает предпосылки для развития устойчивых процессов теплопереноса (тепловлагопереноса, теплопаропереноса, термоосмоса), также меняющих состояние и свойства грунтов оснований АЭС. В наблюдательную сеть мониторинга геологической среды территорий АЭС должны обязательно включаться температурные наблюдения и контроль за процессами теплопереноса. Основную долю в энерговыделении АЭС в окружающую среду составляет тепло (до 70%). На современных АЭС вода используется в качестве главного теплоотводящего элемента в системе (сети производственно-технического водоснабжения, бассейны-охладители, градирни). Вокруг АЭС формируется устойчивое техногенное тепловое поле – температурная аномалия, протяженность которой в плане определяется теплофизическими свойствами пород и гидрогеологическими условиями территории. Некоторые данные о влиянии тепловых источников АЭС на нагрев грунтовых вод представлены в табл. 2.4.

Активному развитию процессов теплопереноса в районах АЭС способствуют следующие факторы: значительная заглубленность тепловыделяющих элементов энергетического комплекса в массивы горных пород; техногенное усиление инфильтрационного питания грунтовых вод, сопровождающееся подъемом их уровней и ростом



скоростей фильтрации; повышенным водопотреблением АЭС по сравнению с другими объектами (в среднем около 2 м<sup>3</sup>/с против 1,1 м<sup>3</sup>/с на ТЭЦ при безвозвратных потерях 1 м<sup>3</sup>/с на каждые 1000 мВт).

Таблица 2.4

**Нагрев грунтовых вод АЭС на различном расстоянии от источника**

Параметр	Номер термометрической скважины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от источника нагрева, м	25	75	100	125	150	650	750	1000
Повышение температуры грунтовых вод, °С	11,0	3,5	2,2	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5

Установлено, что наиболее высокие температуры грунтовых вод фиксируются в зоне охладительного бассейна АЭС и промплощадки. В зоне транзитного движения, как правило, ограниченного в разрезах местным водоупором, отмечается относительная равномерность прогрева грунтовых вод. Наблюдают область устойчивого повышения температуры грунтовых вод от внешнего контура промплощадки и до зоны естественного движения грунтового потока (область конвективного переноса тепла). прослеживается тесная связь режима развития теплового поля с геофильтрационными параметрами подстилающих пород, проявляющаяся в сходном характере изменения градиентов уровней и температур.

Четвертый важнейший фактор техногенного влияния АЭС на геологическую среду связан с изменением геохимической обстановки. Как известно, современные атомно-энергетические комплексы представляют собой разветвленную цепь специфических промышленных объектов, среди которых выделяются: предприятия начального и среднего этапов (по добыче и переработке руд, обогащению урана, производству топлива); сами атомные электростанции; предприятия по переработке отработанного топлива; объекты временного хранения и окончательного захоронения радиоактивных отходов. Все эти объекты должны находиться в сфере действия мониторинга геологической среды. В результате их деятельности образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные и другие отходы, которые частично поступают в

окружающую и геологическую среду. Они и вызывают различные изменения радиационной, гидрохимической и геохимической обстановки. В табл. 2.5 приведены основные загрязнители окружающей среды.

Таблица 2.5

**Приоритетные загрязнители окружающей среды предприятий атомно-энергетических комплексов**

Источник отходов	Тип радиоактивности	Физическое состояние	Типичные изотопы
Добыча и переработка радиоактивных руд	Естественная	Твердое	Уран-238 Радий-226 Торий-230
		Жидкое	Радий-226
		Газообразное	Радон-222
Изготовление уранового топлива на заводах	>>	Твердое	Уран-235
		Жидкое	Уран-235
		Газообразное	Уран-238
Эксплуатация атомных реакторов	Продукты деления топлива	Твердое	Кобальт-58
			Кобальт-60
			Железо-59
			Марганец-59
			Церий-144
		Жидкое	Цезий-134
			Цезий-137
			Тритий
			Йод-131
			Стронций-90
		Газообразное	Азот-16
			Аргон-41
Сера-33			
Сера-35			
Йод-129			
	Ксенон*133		
Переработка топлива на заводах	Продукты деления трансурановых элементов	Твердое	Америций-241
			Стронций-90
		Жидкое	Цезий-137
			Плутоний
			Церий-144
	Тритий		
	Цирконий-99		

		Газообразное	Йод-131
			Йод-129
			Криптон-85

Как показывает опыт работы отечественных АЭС, их эксплуатационный режим оказывает незначительное радиохимическое воздействие на окружающую среду, не превышающее 2% от суммы космического и почвенного облучения. Сбросы в открытые водоемы невелики и составляют менее 37 ГБк долгоживущих нуклидов в год на 1000 мВт установленной мощности. Наибольший вклад в эту активность вносят изотопы цезия-134 и -137, а также некоторые радионуклиды – продукты коррозии.

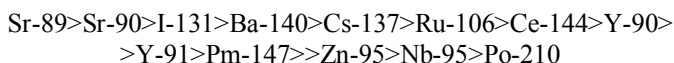
Наибольшую опасность представляют аварийные выбросы радионуклидов в окружающую среду, которые могут многократно перекрыть все фоновые нормативы. Радиоактивные вещества включаются геохимический круговорот в биосфере и оказывают негативное воздействие на все живые организмы в период всего времени жизни. Например, стронций-90 и цезий-137 с периодами полураспада около 30 воздействует на несколько поколений человека.

В случае попадания радиоактивных веществ в объекты геологической среды мониторинг позволяет найти оптимальные способы локализации загрязнений и их ликвидации.

Разрабатывая в системе мониторинга геологической среды наблюдательную сеть, следует иметь в виду, что миграция радионуклидов в зоне гипергенеза осуществляется атмосферным, водным, биологическим и механическим (техногенным) путем. Сами элементы мигрируют в форме ионов, комплексных соединений, коллоидов, растворенных и свободных газов. На геохимических барьерах радиоактивные элементы теряют свою подвижность, как, например, цезий в глинистых почвах и торфяниках. В зоне гипергенеза наиболее распространенным является карбонатный геохимический барьер, который контролирует концентрацию щелочноземельных и многих других элементов. Он проявляется как в окислительной, так и в восстановительной обстановке. В системе мониторинга наличие природных геохимических барьеров должно учитываться в первую очередь.

Основное внимание следует уделять также радионуклидам, которые переносятся водой в ионной, молекулярной или комплексной

форме. Именно эти формы усваиваются биотой, а значит, создают пути биологической миграции в организм человека – так называемые пищевые цепи. В случае попадания радионуклидов в воду они усваиваются аналогично стабильным элементам. При этом практическое значение имеют в первую очередь только долгоживущие радионуклиды, например цезий-137, стронций-90, плутоний-239. По степени поступления в растения из почвы радионуклиды можно расположить в следующий ряд:



Миграция радионуклидов зависит также от типа почвы, которая определяет ее поглонительную способность: наименьший переход радионуклидов отмечается из черноземных высокогумусных почв, наибольший – из торфяно-болотистых почв.

В случае радиовых аварий атомных реакторов (без расплавления активной зоны и выбросов ядерного горячего во внешнюю среду) происходит выделение радионуклидов в атомарном или молекулярном состоянии. Их форма нахождения в природных образованиях, в том числе подземных водах, та же самая, что и продуктов глобальных выпадений после ядерных испытаний в атмосфере.

Долгоживущие радионуклиды включаются в геохимические циклы и попадают в пищевые цепи, не говоря уже о загрязнениях атмосферы мелкодисперсными частицами.

Трансурановые элементы, являясь излучателями альфа-частиц, чрезвычайно токсичны при респираторном поступлении в легкие человека. С пылью они попадают в поверхностные и подземные воды.

Интенсивная пространственно-временная изменчивость поля распределения техногенных радионуклидов обуславливает применение в системе мониторинга трендового анализа в качестве основного метода оценки и прогноза гидрогеохимической (эколого-геологической) обстановки.

Результаты наблюдений за миграцией радионуклидов должны обрабатываться в единой автоматизированной информационной системе (АИС) мониторинга геологической среды регионального или национального уровня.

В целом, гидрогеохимический мониторинг территорий АЭС должен базироваться на использовании основных методических положений геохимического картирования территорий, включающего принципы обоснования состава исследований, размеров сети опробования основных элементов геологической среды.

## **2.8. Мониторинг территорий нефтегазопроводов и транспортных систем**

Природно-технические линейные системы нефте- и газопроводов имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды территорий, на которых располагаются нефте- и газопроводы. Основными из них являются:

1) значительная протяженность трасс газопроводов, проходящих через разные климатические и природные зоны с разнообразными инженерно-геологическими условиями;

2) тенденции увеличения технологических нагрузок на трубопроводы, связанные с возрастанием объемов перекачиваемых продуктов;

3) чрезвычайно серьезные экологические последствия для окружающей среды, возникающие в случае аварий трубопроводов, особенно нефтепроводов, из чего следует необходимость обеспечения достаточно высокой надежности работы этих сооружений;

4) увязка различных сооружений газо- и нефтепроводов с инженерными комплексами осваиваемых месторождений.

Как правило, крупнейшие нефте- и газопроводы (конденсатопроводы) должны включаться в систему мониторинга вместе со всей инженерной структурой освоения месторождения. Например, освоение крупнейших газовых месторождений на территории Западной Сибири и на северо-востоке европейской части России в настоящее время ведется путем сооружения отдельных газовых промыслов, состоящих из установок комплексной подготовки газа и дожимных компрессорных станций. Промыслы размещаются по осевой линии месторождения в пределах коридора основных коммуникаций, где сооружаются по 2-3 нитки газопровода-коллектора диаметром труб 1200–1400 мм, а также 1-2 нитки водоводов, линии электропередачи и автомобильная дорога с покрытием бетонными

плитами. Большинство газопроводов-коллекторов и магистральных газопроводов прокладывается подземным или полуподземным способом (полузаглубленным) с обваловкой или в насыпи. В процессе освоения крупных нефтяных и газовых месторождений в связи с необходимостью добычи, очистки и транспортировки полезного ископаемого создается сложно построенная региональная природно-техническая система, захватывающая огромную территорию, отличающаяся большой протяженностью, а в условиях России к тому же часто расположенная или частично проходящая в криолитозоне.

Опыт борьбы с многочисленными деформациями различных сооружений вдоль трасс нефте- и газопроводов показал, что эксплуатационная надежность газо- или нефтедобывающих комплексов и трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях не может быть обеспечена проведением отдельных ремонтных работ и мероприятий по инженерной защите данной системы.

Если пространственно-временная структура мониторинга геологической среды определяется целью управления, режимом эксплуатации, а также инженерно-геологическими условиями, определяющими характер и интенсивность взаимодействия между различными типами сооружений и геологической средой, то при создании мониторинга территорий трасс трубопроводов оценивают инженерно-геологические условия территории и анализируют техногенную нагрузку вдоль трассы. На основе сопоставления карт и другой информации составляется прогноз взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений вдоль всей трассы и разбивается наблюдательная сеть мониторинга. Рассмотренная выше общая методика организации системы мониторинга остается в силе и для территорий газо- и нефтепроводов.

Исходными материалами для составления прогнозов изменения инженерно-геологических условий служат следующие данные: опережающие инженерно-геологические съемки среднего масштаба; детальные данные предпостроечных изысканий; результаты режимных наблюдений за изменением тех или иных компонентов геологической среды при их взаимодействии с инженерными сооружениями; повторные обследования промплощадок и трасс трубопроводов и повторных площадных съемок; многозональные космические и

аэрофотосъемки предпостроечной ситуации и последующих залетов, а также тепловая съемка.

Прогноз изменения инженерно-геологических условий по трассам газо- и нефтепроводов может осуществляться в три этапа: 1) региональный прогноз изменений инженерно-геологических условий на основе анализа структуры полей геологических параметров, характеризующих состояние геологической среды до и после освоения территории; 2) прогнозное инженерно-геологическое районирование территории по характеру взаимодействия различных типов сооружений с геологической средой; 3) локальный количественный прогноз геологических параметров, определяющих устойчивость ПТС. Общая структура мониторинга геологической среды вдоль трассы трубопровода включает в себя подсистемы регионального, локального и детального урвней.

Состояние подземных газопроводов по сравнению с проектным может оцениваться по такому показателю, как, например, «стабильность» (S), предложенному в 1988 г. В.В. Пендиным с сотрудниками. Показатель стабильности варьирует в пределах от 1 до 0, причем значение  $S = 1$  соответствует полному отсутствию деформаций сооружения, превышающих предусмотренные проектом, а при  $S = 0$  сооружение выходит из строя в результате развития инженерно-геологических процессов. Классификация состояния газопроводов по «стабильности» приведена в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Классификация состояния подземных газопроводов по стабильности (S)**

Пункт	S	Состояние газопровода	Возможные дефекты
1	1	Газопровод полностью соответствует проекту	—
2	0,7	Газопровод обнажен частично	Разрушение гидроизоляции, активизация коррозии, потенциальная возможность разрушения соседних ниток при аварии одной из них
3	0,5	Газопровод полностью обнажен	То же, что в п.2; газопровод не заземлен, подвижен, создаются условия для развития скрытых дефектов

			трубы
4	0,3	Газопровод обнажен полностью, наличие арок, змеек	То же, что в п.3; возможна работа трубы при напряжениях выше допустимых
5	0,1	Газопровод обнажен, арки, змейки с гофрами	То же, что в п.4; возможно течение материала трубы
6	0	Разрыв трубы газопровода	

Существует специфика мониторинга геологической среды и на территориях, по которым проходят различные линейные транспортные геотехнические системы. Среди них первостепенное значение имеют железные дороги и автомобильные трассы. Главными особенностями этих ПТС, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды, являются:

1) большая протяженность транспортных линейных магистралей и вследствие этого большое разнообразие вдоль трасс инженерно-геологических условий;

2) возрастающая год от года нагрузка на транспортные магистрали, обусловленная общей тенденцией увеличения грузоперевозок, внедрением перевозок сдвоенными тяжеловесными составами и т.п.;

3) усиливающиеся тенденции активизации техногенных изменений геологической среды вдоль транспортных магистралей.

Воздействия транспорта на геологическую среду не локальны, так как сеть железных и автомобильных дорог разного класса, воздушных трасс, судоходных рек, ЛЭП охватывает все регионы страны. Продукты неполного сгорания транспорта попадают в атмосферу и разносятся ветром, но они накапливаются в течение времени во всех компонентах окружающей, и в том числе геологической среды. Наибольшему загрязнению, естественно, подвергаются придорожные зоны. Исследования показывают, что в полосе магистральных автомобильных дорог первого класса шириной 30–50 м в почвах, грунтовых водах и растительности накапливаются нефтепродукты, свинец, цинк и другие тяжелые металлы в концентрациях, значительно превышающих ПДК. Трасса длиной 100 км загрязняет геологическую среду сверх ПДК на площади 500 га. В районах аэродромов образуются устойчивые зоны загрязнения почв и



грунтовых вод керосином и некоторыми тяжелыми металлами, при этом очаги загрязнения выходят за территорию взлетно-посадочных полос.

На инженерно-геологические условия территории воздействует как строительство, так и эксплуатация транспортных систем. Они способны активизировать природные или вызвать к жизни техногенные экзогенные геологические процессы: оползни, обвалы, пльвуны, суффозию, карст, эрозию, заболачивание и т.д. Вибрационное воздействие от тяжелогруженных автомашин и поездов интенсифицирует оползни, обвалы, осыпи, лавины и другие гравитационные явления.

В настоящее время компании автомобильных или железных дорог страны не имеют не только собственных сил для обеспечения надежности инженерной защиты эксплуатирующихся сооружений, но и достаточно обоснованной картины современного состояния транспортных геотехнических систем с точки зрения наличия опасных участков. Компании также не могут в полной мере прогнозировать изменения геологической среды. В связи с этим организация систем мониторинга по основным трассам автомобильных и железных дорог является государственной задачей.

На трассах автомобильных и железных дорог существует геотехнический контроль, призванный обеспечивать надежное, безаварийное функционирование трасс, сохранность и обслуживание системы инженерной защиты магистралей. Геотехнический контроль призван обеспечивать и режимные наблюдения по трассам при организации мониторинга геологической среды. На железных дорогах России геотехнический контроль осуществляется в соответствии со сложившейся организационной структурой управления, которая включает в себя следующие подразделения: управление дороги, отделение дороги, дистанция пути, околотов. В состав отделения дороги включаются обычно 2-3 дистанции пути, а в состав дистанции – ряд околотов. Каждый околотов охватывает 20–25 км трассы железной дороги. Поэтому уровневая система мониторинга геологической среды железнодорожных трасс должна строиться с учетом этой структуры.

Мониторинг геологической среды дистанции пути соответствует локальному уровню, основной задачей которого является оценка состояния инженерной защиты дистанции с

разработкой рекомендаций по комплексу защитных мероприятий и укрупненным определением их стоимости. На этом уровне проводится оценка динамики развития различных неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов за периоды строительства и эксплуатации дороги, разрабатываются управляющие решения и рекомендации по функционированию системы защитных мероприятий. Исследования и наблюдения ведутся с помощью аэрофотосъемки, анализа материалов обычных аэрофотосъемок залетов разных лет, а также наземных инженерно-геологических обследований. Карта прогноза состояния геологической среды вдоль дистанции пути по степени устойчивости ее элементов к техногенным воздействиям строится в масштабе 1:10 000 или 1:25 000.

Мониторинг геологической среды железнодорожной трассы отделения дороги соответствует региональному уровню. Он объединяет в себе локальные информационные сети детального и локального уровней в пределах всего отделения дороги. На этом уровне мониторинга обосновывается финансирование системы защитных мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций, составляется кадастр проявлений геологических и инженерно-геологических процессов, оценка их активности и возможного воздействия на инженерные сооружения. Новые данные наблюдений получают с помощью космической многозональной фотосъемки, наземных инженерно-геологических обследований и аэровизуальных работ. Мониторинг геологической среды вдоль железнодорожной трассы всего управления дороги относится к национальному уровню, объединяя в себе региональные системы мониторинга отделений. Его назначением является управление всей системой мониторинга данной дороги, обоснование нормативных документов для организации и финансирования службы мониторинга. Помимо обработки и обобщения поступающей информации из систем мониторинга низших уровней, информацию также получают с помощью космической многозональной фотосъемки. Картографические модели для всего управления дороги строятся в масштабе 1:1 000 000 или 1:250 000.

Таким образом, организация мониторинга геологической среды вдоль трасс трубопроводов и линейных транспортных сооружений является актуальной задачей, реализация которой позволит добиться повышения надежности работы инженерных сооружений.

### **3. Методики и методы контроля безопасного состояния природно-технических систем**

#### **3.1. Наблюдательные сети и программы наблюдений**

Основу системы сбора информации о природно-технических системах в ходе мониторинга составляют наблюдательные сети. Наблюдательные сети мониторинга природно-технических систем призваны обеспечить всесторонний сбор достоверной информации о среде в целом и ее отдельных элементах.

К наблюдениям в системе мониторинга предъявляются достаточно высокие требования, а их проведение должно основываться на тщательных методических проработках и научном обосновании. В зависимости от назначения в мониторинге геологической среды используют четыре основные группы наблюдений: инвентаризационные, ретроспективные, режимные и методические.

Инвентаризационные наблюдения проводятся достаточно редко, через длительный срок, для того чтобы либо оценить начальное состояние геологической среды, либо оценить ее многолетние изменения. Они включают в себя набор трудоемких или дорогостоящих методов наблюдений за объектами геологической среды, которые не могут часто использоваться или входить в состав режимных наблюдений. Эти наблюдения носят характер инвентаризации на определенный период и могут проводиться с очередностью одного раза в год, либо раз в 2-3 года и более. В состав инвентаризационных наблюдений априори включаются наиболее консервативные элементы геологической среды, для которых заведомо можно предположить низкую скорость изменения, в том числе и техногенного.

Ретроспективные наблюдения направлены на выявление тенденций развития геологической среды или ее компонентов и установление закономерностей их изменений. Они составляют основу для решения прогнозных задач в мониторинге геологической среды и проводятся по особой программе, составленной с учетом установленных тенденций развития или изменения для данного

компонента геологической среды. Главное условие при постановке ретроспективных наблюдений – обеспечение надежной информации, достаточной и необходимой для составления того или иного прогноза.

По срокам и периодичности проведения ретроспективные наблюдения могут быть различными в зависимости от того, насколько велика скорость изменения того или иного элемента геологической среды.

Режимными стационарными наблюдениями называются наблюдения за динамикой процессов и явлений на наблюдательных стационарах – наблюдательных участках, точках, пунктах – в целях выявления их закономерностей и обусловленности. Они отражают определенные (ежегодные, сезонные, ежемесячные, суточные и др.) колебания в системе наблюдаемых объектов и процессов. Режимные наблюдения в общей методике инженерно-геологических исследований составляют определенный, самостоятельный и важный вид геологических работ, который входит как часть наблюдений и в мониторинг геологической среды.

Режимные наблюдения нацелены на решение прогнозных задач, на то, чтобы получить возможность предвидеть и прогнозировать тенденцию и масштаб развития тех или иных процессов и явлений.

При проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений и хозяйственном использовании территорий чаще всего выполняются следующие виды режимных стационарных наблюдений: 1) метеорологические и гидрологические; 2) гидрогеологические; 3) геотермические; 4) за деформациями масс горных пород на склонах, в откосах, на оползневых участках, в подземных выработках и котлованах; 5) за осадками и деформациями сооружений; 6) за скоростью и характером развития процессов выветривания, эрозии, абразии, пучения горных пород, за их физическим состоянием и другими процессами и явлениями. Все эти наблюдения также входят в состав мониторинга окружающей среды.

Методические наблюдения направлены на совершенствование методов мониторинга или на создание новых. Методические наблюдения часто предшествуют режимным или ретроспективным для корректировки или уточнения программ наблюдений. С их помощью устанавливаются наиболее оптимальные сроки контроля наблюдаемых систем и их периодичность. Для каждой сети наблюдений при организации функционирующей системы мониторинга

разрабатываются программы наблюдений. Программа наблюдений входит как одна из важнейших методических составных частей в общую целевую программу мониторинга геологической среды. По своей форме программа наблюдений составляется в виде практического методического руководства по наблюдениям на данной конкретной территории мониторинга геологической среды.

В зависимости от набора компонентов геологической среды выделяют наблюдения за следующими показателями:

- составом, состоянием и свойствами почв, горных пород, техногенных грунтов;
- подземными водами (режим, динамика, гидрохимия и т.д.);
- рельефом (техногенная нарушенность, изменчивость, расчлененность, динамика и т.д.);
- природными геологическими процессами (эндогенными, экзогенными);
- инженерно-геологическими процессами и явлениями;
- процессами взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды (осадками сооружений, устойчивостью, состоянием фундаментов, утечками техногенных вод и т.п.).

Каждый показатель однозначно связан с каким-либо конкретным элементом окружающей среды или его частью.

Каждая точка наблюдений представляет собой единственный пункт получения информации, а их комплекс – систему пунктов получения информации. Главное в ее организации – учет характера пространственной изменчивости объектов геологической среды, изменчивости зонально-климатических факторов, а также источников техногенного воздействия. Анализ изменчивости показателей загрязнения геологической среды должен проводиться с учетом возможных миграционных путей загрязнений источника.

В настоящее время техническая база наблюдений достаточно широко разработана. В качестве технических средств наблюдений используются различные приборы и оборудование. Главной проблемой при этом является подбор наиболее оптимального комплекса автоматизированных технических средств с учетом их надежности, стоимости, экономичности.

Наблюдательные сети в пределах геологической среды формируются в определенном трехмерном пространстве. В

зависимости от масштаба исследований или ранга мониторинга геологической среды наблюдательные сети бывают детальные, локальные, региональные или национальные. Они охватывают определенные площади – так называемые наблюдательные полигоны соответствующего уровня. Наблюдательные полигоны могут включать всю исследуемую территорию или только ее часть. В последнем случае наблюдения ведут либо на опытных площадках, оборудованных соответствующим образом, либо на эталонных участках, геологическое строение которых отражает лишь какой-либо один характерный элемент геологической среды.

Низшей структурной единицей иерархической системы наблюдений мониторинга геологической среды является точка наблюдения (точка отбора проб грунта или почвы, родник, колодец, скважина и т.п.). Следующий уровень – наблюдательный пост (гидрогеологический, геокриологический, инженерно-геологический, геофизический и т.п.), состоящий в случае гидрогеологических наблюдений из группы поэтажно оборудованных наблюдательных скважин. Пост обычно обеспечивает какую-либо одну группу наблюдений, а в случае комплексного применения методов наблюдений (например, гидрогеологических и геофизических) перерастает в наблюдательный полигон. В пределах наблюдательного полигона оборудуется система наблюдательных скважин и экспериментальных площадок, предназначенных для изучения конкретных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических явлений и процессов.

В зависимости от ранга наблюдательного полигона на них решаются разные задачи. Полигоны низшего ранга – детальные наблюдательные полигоны, предназначенные для решения различных узких задач сбора первичной информации на участках, типовые условия которых соответствуют опорному полигону.

Опорный полигон соответствует локальному уровню исследований и оборудуется на типовом (опорном) участке, характеризующем какую-либо таксономическую единицу инженерно-геологического типологического районирования.

Совокупность ряда опорных полигонов образует региональный наблюдательный полигон. Такие полигоны позволяют устанавливать наиболее общие региональные закономерности изменения геологической среды на всей территории.

Специальные наблюдательные полигоны создаются для наблюдений за какими-либо негативными процессами на различных ответственных или уникальных сооружениях. Сложность таких сооружений (например, гидроузла, АЭС и т.п.) обуславливает проведение особых защитных инженерных мероприятий и соответственно особых наблюдений, проводимых по специально составленной программе. Опытно-методический полигон в системе мониторинга геологической среды выполняет роль испытательного. В отличие от опорных участков, на опытно-методических полигонах ведется проверка и отработка всевозможных методов контроля и сбора первичной информации за элементами геологической среды или ПТС, проводятся натурные эксперименты, отрабатываются модели и т.д. Изыскательские полигоны служат для кратковременных (на период изысканий) исследований и режимных наблюдений в системе мониторинга. Исследования на них ведутся в соответствии с действующими нормативными документами. Такие полигоны создаются на начальных стадиях формирования наблюдательной сети мониторинга, на стадиях предварительных исследований и т.п.

Основой всякого полигона в системе мониторинга является хорошо и правильно оборудованная наземная наблюдательная сеть, техническую базу которой составляет соответствующая измерительная и регистрирующая аппаратура. Выделяется несколько главных условий ее успешного функционирования:

– автономность работы приборов (наличие автономных источников питания) с малой потребляемой мощностью;

– непрерывность работы измерительных средств (датчиков) в течение длительного времени (5 лет и более);

– автоматизация процесса измерений и передачи в АИС или сохранение собранной информации;

– комплектация средств измерений (использование меньшего числа приборов для фиксации возможно большего числа параметров).

Состав наблюдений определяется с учетом различных источников техногенного воздействия на данной территории и может быть площадным (проводиться по всей площади), линейным (например, по линии геофизического или геогидрогеологического профиля) или точечным (редкая наблюдательная сеть, рассредоточенная по площади).

### 3.2. Дистанционные методы исследований

Среди дистанционных методов наблюдений в системе мониторинга геологической среды используются две основные группы способов: аэрокосмические и геофизические.

Основными видами дистанционных аэрокосмических методов исследования геологической среды, которые могут с успехом использоваться в системах мониторинга, являются фотосъемка, телевизионная, инфракрасная, радиотепловая, радиолокационная радарная и многозональная съемка. Практически все эти методы полезны при оценке техногенных изменений геологической среды, поиске ореолов загрязнений, оценке динамики техногенных изменений геологической среды и т.д.

Среди дистанционных в системе мониторинга геологической среды чаще всего используются методы аэрокосмического дешифрирования. При этом в зависимости от масштаба съемки могут применяться снимки различного масштаба.

В настоящее время среди дистанционных методов, успешно применяемых при мониторинге природной среды, в том числе геологической, является многозональная аэрофотосъемка и многозональная аэрокосмическая фотосъемка. Снимки выполняют в различных диапазонах спектра и в итоге получают своеобразный «спектральный образ» того или иного объекта геологической среды (почв, поверхностных грунтов, асфальтовых покрытий, инженерных сооружений, водной поверхности). Среди дистанционных методов контроля большого количества объектов, расположенных на значительных площадях, особое место занимает тепловая съемка, выполняемая в среднем и дальнем диапазонах инфракрасной области электромагнитного спектра. Регистрируется в основном собственное тепловое излучение, интенсивность которого определяется температурой и состоянием излучающей поверхности. Тепловая съемка дает хорошие результаты для обнаружения таких техногенных воздействий, как сбросы загрязнений в поверхностную гидросферу, выбросы загрязнений в атмосферу, утечки из различных накопителей жидких отходов, из оросительных систем, наземных и подземных коммуникаций (в том числе теплосетей), наличие зданий и сооружений в зоне развития многолетнемерзлых пород, очаги



самовозгорания в толще накоплений различного горючего материала. Радиолокационная съемка, выполняемая в СВЧ-диапазоне, позволяет получить более обширную информацию, чем тепловая съемка, но основные успехи применения этого метода также связаны с наблюдениями за изменениями влажности поверхностного слоя грунтов и почв и положения уровня грунтовых вод. В связи с этим в системе мониторинга геологической среды метод радиолокационной съемки особенно эффективен для контроля тех техногенных воздействий, которые влияют на режим влажности пород зоны аэрации и на уровень поверхности грунтовых вод.

Для наблюдения за процессами, происходящими в толще пород, используются различные дистанционные геофизические методы исследований. Успешное использование геофизических методов наблюдений в системе мониторинга геологической среды обеспечивается тщательным продумыванием и обоснованием схемы измерений, рациональным комплексированием методов, надежными методами обработки информации. Большим преимуществом геофизических методов наблюдений в системе мониторинга является возможность получения непрерывной режимной информации по ряду процессов.

Среди основных геофизических методов, применяемых в мониторинге геологической среды, необходимо отметить методы непрерывного сейсмоакустического профилирования, электрических зондирований, естественного электрического поля, термометрии.

### **3.3. Наблюдательные станции**

Наблюдательные станции на земной поверхности закладываются при появлении деформаций следующих объектов:

– промышленных зданий (заводских цехов, обогатительных фабрик, рудничных мастерских, надшахтных зданий и зданий подъемных машин);

– линий железных дорог и транспортных сооружений (мостов, путепроводов, виадуков);

– инженерных сооружений (водонапорных башен, дымовых труб, шахтных копров, бункеров, электроподстанций, опор линий электропередачи, газопроводов и нефтепроводов);

– технологического оборудования (шахтных подъемных машин, вентиляторов, оборудования обогатительных фабрик и закладочных комплексов, котлов, металлообрабатывающих станков длиной более 6 м, подкрановых путей и т. д.);

– санитарно-технических сетей (водопроводов, тепловодов, канализационных сетей);

– водных объектов (рек, каналов, водохранилищ, хвостохранилищ и шламоотстойников);

– действующих карьеров, склонов гор, на которых могут возникать оползни.

На наблюдательных станциях определяют величины деформаций зданий и сооружений, их фундаментов и земной поверхности. С этой целью в зданиях и сооружениях и их фундаментах устанавливают стенные реперы, маяки, замерные марки, датчик или другие замерные устройства, а на земной поверхности вблизи объектов закладывают линии грунтовых реперов.

Плановую и высотную привязку реперов, наблюдения за грунтовыми и стенными реперами, марками в вертикальной и горизонтальной плоскостях выполняют геодезическими методами.

Стенные реперы (марки) закладывают в фундаментах или цоколях ниже слоя гидроизоляции по всему периметру здания через равные интервалы от 4 до 10 м. На каждой стороне здания должно быть заложено не менее трех стальных реперов. Расстояния между реперами в каркасных зданиях должны соответствовать шагу основных колонн (столбов). Стенные реперы закладывают непосредственно в наружных колоннах или их фундаментах. В отдельных случаях закладывают реперы и во внутренних колоннах, а также в балках перекрытий.

Грунтовые реперы закладывают против стальных реперов на расстоянии не менее 1,5 м от фундамента, но не ближе 0,5 м от отмостки.

Наблюдения на станции заключаются в нивелировании стальных и грунтовых реперов, измерении горизонтальных расстояний между ними и наблюдении за деформациями зданий путем визуального осмотра. При этом особое внимание необходимо обращать на состояние несущих конструкций (наличие трещин, отклонений от первоначального положения, прогибов).

В зданиях и сооружениях устанавливают комплекс датчиков, приборов и приспособлений, с помощью которых проводят наблюдения за напряжениями и деформациями в конструкциях зданий. В таких случаях наблюдения обычно выполняют с привлечением специализированных организаций.

При появлении в стенах, колоннах и других частях зданий и промышленных сооружений трещин устанавливают маяки для наблюдения за изменением размеров трещин. Ширину и длину трещин, а также дату измерения записывают в журнал. Для непосредственного измерения ширины раскрытия трещин применяют: измерительный клин, прозрачный трафарет с нанесенными на него линиями различной толщины, стальную линейку. Для измерения трещин в недоступных местах применяют глазомерную оценку ширины трещины по сравнению с непосредственно измеренными трещинами на ближайшем участке.

При появлении первых признаков деформации зданий (возникновение первых трещин в стенах, раскрытие осадочных швов в зданиях с конструктивными мерами защиты) необходимо провести дополнительные наблюдения по реперам наблюдательной станции и зафиксировать все видимые проявления деформаций зданий независимо от ранее намеченной программы наблюдений.

Для промышленных зданий и сооружений, имеющих ответственные агрегаты, например мостовые краны, сложные станки, механизмы и другое оборудование, необходимо проводить наблюдения за изменением их положения в плане и по высоте.

При наблюдениях за подкрановыми путями мостовых кранов проводят нивелировку головок рельсов, измерение ширины колеи и зазоров на стыках рельсов. На колоннах, несущих подкрановые пути, устанавливают стенные реперы, по которым проводят нивелировку и измерение, как в продольном, так и в поперечном направлении.

В фундаментах станков и другого оборудования закладывают не менее четырех реперов и выполняют нивелирование, позволяющее определять наклоны фундаментов в любых направлениях. При появлении трещин в фундаментах устанавливают маяки и проводят наблюдения за изменением размеров трещин.

При деформациях полотна железных дорог закладывают наблюдательные станции, включающие:

– линии грунтовых реперов вдоль основания полотна железной дороги для получения величин деформаций земной поверхности под полотном железной дороги;

– линии забивных реперов на верхней площадке земляного полотна между бровкой откоса полотна и балластной призмой для получения данных об оседаниях и горизонтальных сдвигениях полотна железной дороги и определения мест и объемов ремонтных работ.

Наблюдения на станции включают нивелирование реперов и измерение расстояний между ними. На профильных линиях, заложенных вдоль полотна, следует измерять ординаты для определения поперечных сдвижений полотна.

Одновременно с наблюдениями проводят измерение зазоров в стыках рельсов и нивелирование головок рельсов. Собирают также сведения о проведенном ремонте верхнего строения пути (подсыпка балласта, разгонка стыковых зазоров).

При деформациях трубопроводов проводят наблюдения за деформациями земной поверхности, напряженно-деформированным и техническим состоянием трубопровода. Для наблюдений за деформациями земной поверхности в зоне деформации трубопровода закладывают грунтовые реперы вдоль трубопровода. Расстояние между реперами должно составлять 10–15 м.

Инструментальные наблюдения включают нивелировку грунтовых реперов и измерение расстояний между ними.

Для наблюдений за состоянием трубопроводов в зонах наибольших ожидаемых деформаций земной поверхности их вскрывают специальными колодцами, шурфами и траншеями, которые при секционных трубопроводах располагают в местах стыковых соединений. Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием трубопроводов в зависимости от их назначения и конструкции включают:

– для стальных подземных и наземных напорных трубопроводов измерение деформаций труб в отдельных точках, вычисление растягивающих напряжений и проверку условий прочности (выполняют специализированные организации) в случаях, когда расчетные деформации земной поверхности превышают допустимые для данного трубопровода;

— для подземных и наземных секционных трубопроводов измерение подвижек стыковых соединений и проверку компенсационной способности стыков. С этой целью по обе стороны стыкового соединения должны быть намечены постоянные точки для систематического измерения расстояния между ними;

— для самотечных трубопроводов наряду с наблюдениями за состоянием и работой стыковых соединений нивелировку дна лотков и трубопроводов, а также проверку условий самотечности;

— для эстакадных трубопроводов инструментальные измерения оседания и горизонтального перемещения опор и их наклонов, продольного и поперечного перемещения трубопровода на опорах, а также фиксацию и замер поврежденных опор.

Одновременно с инструментальными наблюдениями проводят визуальное обследование трассы трубопровода. При этом фиксируют состояние колодцев, утечки транспортируемой жидкости, взаимное перемещение грунта (опор) и труб, а также другие видимые проявления деформаций трубопровода и земной поверхности.

При деформациях высоких инженерных сооружений с малой площадью опоры (дымовые трубы, водонапорные башни, бункер опоры ЛЭП, телевизионные и радиорелейные башни) в фундаментах сооружений закладывают стенные реперы, а против них и по периметру основания на удалении не менее 2–3 м от фундамента грунтовые реперы. Кроме нивелирования стенных и грунтовых реперов проводят наблюдения за наклонами сооружений.

При эксплуатации водохранилищ, хвостохранилищ, прудов и других водных объектов, имеющих искусственные сооружения в виде плотин, дамб, водосливных устройств, водопропускных лотков или каналов, выполняют инструментальные и визуальные наблюдения за состоянием этих сооружений.

Инструментальные наблюдения включают нивелирование и измерение расстояний между реперами, заложенными по верхнему гребню и у основания плотин и дамб, а также установленными в водосливных устройствах и облицовке лотков и каналов. Визуально фиксируют все видимые проявления деформаций в сооружениях (трещины, просадки, просачивание воды).

### **3.4. Моделирование технологических процессов**

## **И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В изучении природных и технологических процессов следует выделить два основных метода исследования, таких, как мониторинг и моделирование.

В предыдущих главах показано, что мониторинг как элемент экспертизы состоит из наблюдения за природой, анализа состояния окружающей среды, контроля за выбросами вредных веществ, рекомендаций по улучшению экологической обстановки, приведения в действие нормативных и законодательных актов, регулирующих хозяйственную деятельность субъектов.

Мониторинг допускает моделирование процессов, но в узкой трактовке рассмотрим мониторинг как метод наблюдения за природой, выделив моделирование в отдельную область исследования.

Моделированием называют получение модели, дающей информацию об исследуемом процессе или явлении. Модель – это система, отражающая отдельные стороны явления, процесса. Существуют несколько видов моделирования: имитационное, или аналоговое; физическое; математическое; комбинированное.

В системном анализе применяют такие термины, как входной эффект и выходной эффект; под выходом понимается любое воздействие на систему со стороны окружающей или внешней среды или соседней системы. В качестве входного эффекта может рассматриваться любой вид техногенного воздействия на геологическую среду или их комплекс. И наоборот, соответствующими выходными эффектами, или выходами, называются изменения (или отклики), которые претерпевает система. Входные эффекты представляют собой внешние факторы по отношению к рассматриваемой системе (техногенная компонента), а выходные эффекты могут быть изменениями ее свойств и характеризоваться комплексом параметров.

В системном анализе выделяют четыре типа моделей:

- 1) модель типа «черный ящик»;
- 2) модель состава;
- 3) модель структуры;
- 4) комплексная модель (сочетание первых трех) (рис. 3.1).

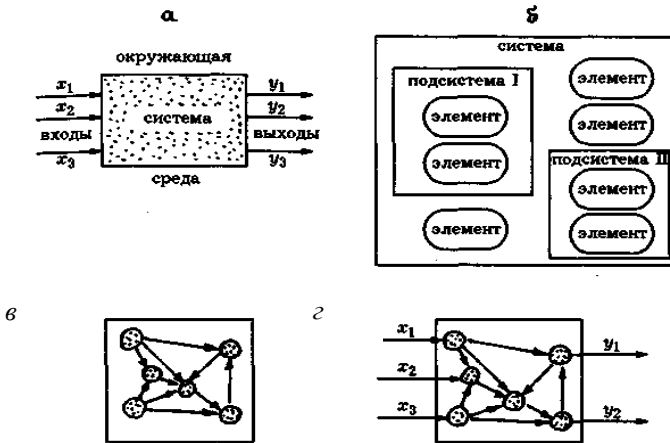


Рис. 3.1. Типы статических моделей систем:

*a* – модель «черного ящика»; *b* – модель состава; *v* – модель структуры; *z* – структурная схема модели системы

*Модель «черного ящика».* Когда ничего неизвестно о внутреннем составе и устройстве самой исследуемой системы, то ее модель можно представить в виде «ящика», выделенного из окружающей среды, так называемого «черного ящика». Связи со средой осуществляют «входы» и «выходы» рассматриваемой системы (рис. 3.1, *a*).

Модель «черного ящика» используется и на начальных этапах исследований, на начальных стадиях организации мониторинга.

Цель использования модели «черного ящика» проста: варьируя входными переменными интенсивностью техногенных воздействий (или исследуя их в разных условиях), исследователь изучает реакцию на них выходных параметров изменений окружающей среды или ее элементов. Анализируя затем эту реакцию на выходе, можно сделать ряд важных практических выводов о самой системе. При использовании этой модели в системе мониторинга она реализуется на ЭВМ, и поставленные задачи решаются подбором до наилучшего совпадения входных и выходных параметров. На основе анализа входных и выходных параметров устанавливают детальные модели состава и структуры.

*Модель состава системы.* Модель состава окружающей среды (ее элементов) может рассматриваться в широком и узком смысле. В широком смысле подсистемами окружающей среды являются почвы, воды, рельеф, воздух, процессы и явления (рис. 3.1, б). В каждой из этих подсистем могут быть выделены свои подсистемы и так далее до элементов.

*Модель структуры системы.* Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы.

Перечень связей между отдельными (или всеми) элементами системы и ее подсистемами (т.е. структура системы) является отвлеченной, абстрактной моделью: в ней установлены только отношения между элементами, но не рассмотрены сами элементы. На практике же установлению связей и отношений между элементами окружающей среды всегда предшествует построение модели состава, т.е. выделение перечня элементов. Графически модель структуры выражается в виде набора связей разного типа между элементами (рис. 3.1, в).

*Комплексная модель системы.* Объединяя в одну модель «черный ящик», модель состава и структуры системы, мы получим в итоге комплексную модель окружающей среды (ее части), или «структурную схему системы» (или «белый ящик», «прозрачный ящик»). В структурной схеме (не путать со структурной моделью) указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей внешней средой (т.е. входы и выходы системы). Графически структурная схема системы содержит в себе все элементы ее составных моделей (рис. 3.1, г).

Все структурные схемы имеют нечто общее, что побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется графом, а соответствующий раздел математики — теорией графов. В теории графов предусмотрены и разработаны и различные операции преобразования графов, определения их вероятностных характеристик (вероятностные, или стохастические,



графы). Графы могут изображать любые структуры, если не накладывать ограничений на пересекаемость ребер.

Системы, в которых происходят какие-либо изменения во времени, называются динамическими, а модели, их отражающие, – динамическими моделями систем. Реальные природно-технические системы, реальные объекты геологической среды представляют собой динамические системы, изменяющиеся во времени. Развитие динамических моделей происходит примерно в той же последовательности, как это излагалось: от «черного ящика» к «белому» (рис. 3.2).

На этапе создания модели «черного ящика» различают два типа динамики системы: ее функционирование и развитие. Под функционированием понимают те процессы, которые происходят в системе (и окружающей ее среде), стабильно реализующей фиксированную цель. Развитием же называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Развитие ПТС осуществляется человеком при модернизации производства, смене технологий на более совершенные и т.п.

Следующий шаг в построении динамических моделей систем состоит в том, чтобы конкретнее отобразить происходящие в них изменения, в частности техногенные изменения геологической среды. Типы динамических моделей такие же, как и статических, только элементы этих моделей имеют временной характер. Для динамической модели структуры необходимо установить последовательность действий и продолжительность каждого действия между связями и отношениями.

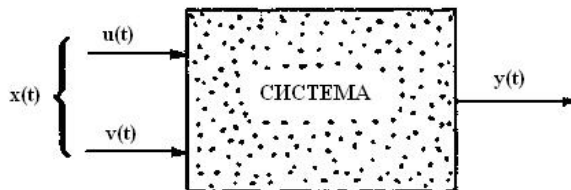
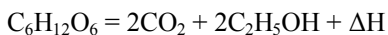


Рис. 3.2. Динамическая модель «черного ящика»

Все указанные выше типы моделей систем являются формальными, относящимися к любым системам окружающей среды. Чтобы получить модель заданной системы, нужно придать формальной модели конкретное содержание, т.е. решить, какие аспекты реальной системы включить в элементы модели избранного типа, а какие – нет, считая их несущественными. Процесс построения содержательных моделей окружающей среды или ее элементов является процессом творческим, интеллектуальным. Формальная модель является «окном», через которое исследователь смотрит на реальную систему, строя содержательную модель окружающей среды.

Имитационное или аналоговое моделирование используют в биологии, биохимии при изучении отдельных компонентов экологических систем. Простейший пример аналогового моделирования – изучение развития замкнутой экологической системы в процессе брожения гексоз под действием микроорганизмов – дрожжей *Saccharomyces* и перенос полученных закономерностей на другие системы.

Как установлено, спиртовое брожение может быть выражено следующим уравнением:



Здесь  $\Delta H$  – тепловой эффект химического процесса, Дж/моль.

Доказано, что спиртовое брожение происходит под действием биологических катализаторов – ферментов и имеет ряд промежуточных стадий. На первой стадии образуется гексозодифосфат, который превращается в фосфат глицеринового альдегида и фосфат диоксиацетона.

На второй стадии фосфат глицеринового альдегида окисляется с образованием фосфоглицериновой кислоты. Из фосфоглицериновой кислоты синтезируется пировиноградная кислота, которая распадается на ацетальдегид и оксид углерода. На последней стадии ацетальдегид восстанавливается до спирта.

Ферментная система, вызывающая брожение, состоит из нескольких биологических катализаторов, важнейшими из которых являются дегидраза, карбоксилаза. Так, гексозодифосфат преобразуется под действием фермента «альдолазы». Фосфат глицеринового альдегида и фосфат диоксиацетона изомеризуются под влиянием

фосфотриазоизомеразы. Окисление фосфата глицеринового альдегида происходит под действием фермента козимазы. Енолаза катализирует процессы, связанные с синтезом пировиноградной кислоты. Карбоксилаза превращает пировиноградную кислоту в ацетальдегид из которого под действием дигидрокозимазы образуется этиловый спирт. Предложенная схема брожения объясняет образование эквимолярных количеств спирта и оксида углерода (IV), а также постоянное наличие в системе небольших количеств глицерина и ацетальдегида.

Основные продукты жизнедеятельности дрожжей – углекислый газ, этиловый спирт, теплота химической реакции приводят к повышению температуры и загрязнению системы. Через некоторое время концентрация спирта в системе достигает 10–14%, как следствие, происходит гибель микроорганизмов, т.е. развитие является неустойчивым (рис.3.3). Выделим следующие стадии развития системы: устойчивый рост, равновесие, гибель системы.

Характерно, что человеческая цивилизация развивается по принципам жизнедеятельности примитивных микроорганизмов в замкнутой системе. Отметим, что к концу XX в. цивилизация вступила в область равновесия, за которым следует гибель при отсутствии каких-либо кардинальных мероприятий по охране окружающей среды. При физическом моделировании проводят воспроизведение процесса в различных масштабах. Исследование развития микроорганизмов при спиртовом брожении в пробирке и перенос полученных закономерностей на технологию получения спирта в промышленном масштабе – результат физического моделирования. В аналоговом моделировании мы перенесли результаты исследования одной системы на совершенно другую и более сложную систему.

При математическом моделировании изучение явления осуществляется на математической модели – уравнении, системе уравнений, описывающих всю совокупность процесса:

$$\begin{cases} f_1(X, Y, Z, t \dots n) = 0, \\ f_2(X, Y, Z, t \dots n) = 0, \\ f_n(X, Y, Z, t \dots n) = 0, \end{cases}$$

где  $X, Y, Z, t, n$  – факторы или параметры процесса;  $f_1, f_2, \dots, f_n$  – функции, связывающие параметры в уравнении.

Особенность математического моделирования состоит в варьировании условий функционирования процесса путем параметрического изменения факторов, что сокращает время проведения анализа модели.

Математическое моделирование сочетается с другими видами моделей, поэтому наиболее часто применяют комбинированные модели.

Рассмотрим пример комбинированного моделирования – очистку раствора каустической соды от ртути. Получим линейное уравнение, описывающее данный процесс. Эксперименты по очистке каустической соды проводили в лабораторном реакторе, имеющем термостат. Из реактора ртуть экстрагировали специальными органическими веществами.

Алгоритм моделирования:

1. Выбор факторов, влияющих на содержание ртути:

$X_1$  – скорость вращения мешалки, об/мин;

$X_2$  – температура раствора, °С;

$X_3$  – время экстракции ртути, мин.

2. Составление матрицы планирования эксперимента (табл.3.1).

Таблица 3.1

**Матрица планирования эксперимента по очистке каустической соды от ртути**

Фактор				Содержание ртути		
$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1 \cdot 10^4$	$Y_2 \cdot 10^4$	$Y_3 \cdot 10^4$
+1	+1	+1	+1	1,09	0,71	0,90
+1	-1	+1	+1	1,34	0,94	1,14
+1	+1	-1	+1	3,07	2,65	2,86
+1	-1	-1	+1	3,42	3,02	3,22
+1	+1	+1	-1	2,90	2,50	2,70
+1	-1	+1	-1	3,01	2,50	2,80
+1	+1	-1	-1	3,74	3,34	3,54
+1	-1	-1	-1	6,64	6,36	6,45

Значения +1, -1 называют уровнями факторов, которые фиксируют при проведении эксперимента. Уровни факторов – это кодированные значения параметров процесса:

$$X_i = \frac{X_i - X_i^0}{\Delta X_i},$$

где  $X_1^0$  – нулевые уровни;  $\Delta X_1$  – интервал факторов.

$X_{10} = 2500$  об/мин;  $X_{20} = 100$  °C;  $X_{30} = 40$  мин;

$\Delta X_1 = 500$  об/мин;  $\Delta X_2 = 10$  °C;  $\Delta X_3 = 15$  мин.

Уровни факторов выбирают по имеющейся априорной информации о процессе.

3. Расчет коэффициентов математической модели проводят по формуле

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^b X_i Y_i, b_{i\gamma} = 1 / N \sum X_i X_{\gamma} Y_i,$$

где  $y_i$  – среднее значение содержания ртути в каустической соде в опытах.

Необходимо обратить внимание, что значения уровней факторов выбирают для каждой строки табл. 3.1 в кодированной форме: +1, -1:

$$b_0 = 10^{-4}(0,90+1,14 + 2,86+3,22+2,70+2,80+3,54+6,45)/8 = 2,95 \cdot 10^{-4};$$

$$b_1 = 10^{-4}(0,90+1,14 - 2,86+3,22-2,70+2,80-3,54 +6,45)/8 = 0,45 \cdot 10^{-4};$$

$$b_2 = 10^{-4}(0,90+1,14 - 2,86-3,22+2,70+2,80-3,54-6,45)/8 = -1,07 \cdot 10^{-4};$$

$$b_3 = 10^{-4}(0,90+1,14+2,86+3,22-2,70-2,80-3,54-6,45)/8 = 0,92 \cdot 10^{-4}.$$

#### 4. Составление математического уравнения

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_3 X_3,$$

$$Y = 10^{-4} (2,95 + 0,45X_1 - 1,07X_2 + 0,92 \cdot X_3),$$

где  $Y$  – содержание ртути в каустической соде, %.

Получив уравнение или математическую модель, проводят анализ:

- рассчитывают ошибку опыта;
- проверяют значимость коэффициентов  $b_i$ ;
- проверяют адекватность уравнения или его точность;
- определяют оптимальные условия, при которых содержание ртути в растворе минимально;
- принимают решение по охране окружающей среды от выбросов ртути.

Рассмотренный вид моделирования относится к разновидности регрессионного анализа или полного факторного эксперимента (ПФЭ),

устанавливающего зависимость между числом факторов  $N$  и количеством опытов, необходимых для построения уравнения регрессии.

Специальные методы комбинированного моделирования природных процессов, содержащие элементы запаздывания причинно-следственных связей, разработаны в 70-х гг. XX в. группой исследователей под руководством Д. Медоуза.

Основной принцип моделирования основан на изучении поведения существенного фактора системы в зависимости от набора параметров, влияющих на природные процессы. Поведение существенного фактора представляется в виде уравнения, диаграммы или базовой динамики. Диаграмма, график, уравнение позволяют провести системный анализ проблемы и установить причинные связи между явлениями.

Формализованная запись существования причинных связей отображается схемой:

$$F_1 \longrightarrow F_2$$

Схема означает, что с изменением  $F_1$  меняется величина  $F_2$ . Существуют два типа причинных воздействий – положительные и отрицательные:

$$F_1 \longrightarrow \pm F_2.$$

В реальных системах структура связей между явлениями гораздо сложнее, чем схемы, изображенные формализованной записью. Для того чтобы показать совокупность взаимодействующих процессов, цепочки причинных связей, изображенные формализованной записью, замыкают в контуры – кольца обратных связей.

Предположим, исследуют систему  $F_2$ . В системе  $F_2$  произошло возрастание одного параметра, который вывел ее из равновесия. Двигаясь по внешнему контуру, заметим, что системы  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $F_1$ , уменьшились. Через некоторое время (время запаздывания) система  $F_2$  вернется в первоначальное положение. Следовательно, система  $F_1$  становится собственной причиной своего поведения во времени, а гомеостаз системы  $F_2$  обусловлен наличием отрицательного кольца обратной связи. Гомеостаз системы – удержание величины  $F_2$  на

некотором уровне или ее способность сопротивляться внешним воздействиям – обусловлен наличием отрицательного кольца обратной связи. В моделировании необходимо находить действующую отрицательную обратную связь, которая сопротивляется внешним воздействиям, способствуя сохранению окружающей среды.

Существуют системы, в которых существенный фактор постоянно увеличивается по определенному закону (рис.3.3). Развитие таких систем неустойчиво, они разрушаются с течением времени, не выдерживая нагрузки. В рамках формального представления явлений в виде цепочки причинных связей подобный случай реализуется в цепи  $F_1, F_2, F_3, F_4$  с положительным контуром обратной связи.

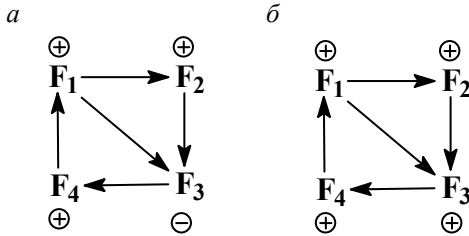


Рис. 3.3. Примеры устойчивого (а) и неустойчивого развития систем (б)

Все процессы, происходящие в природе, можно представить в виде колец обратных связей с различным смысловым наполнением факторов, влияющих на развитие системы, но необходимо различать желаемое, воспринимаемое, действительное состояния системы.

Между желаемым, воспринимаемым и реальным состояниями существуют различия. Предположим, необходимо довести наблюдаемое состояние до определенного уровня  $F_1$ . Для достижения этого уровня предпринято воздействие на систему. В зависимости от условия воздействия состояние системы снизится на более низкий уровень или приблизится к желаемому уровню  $F_1$ . Наблюдаемое состояние  $F_2$  может не отражать реальных процессов, протекающих в системе.

Сформулируем наиболее общие положения, позволяющие привести реальное состояние к желаемому:

- воздействовать на систему необходимо путем изменения структуры, отвечающей за нежелательную динамику развития;
- постоянное усиление действия одних и тех же параметров приводит к неустойчивому развитию и гибели системы;
- поддерживать нормативы, стандарты, не допуская выхода процессов из равновесия;
- снизить запаздывание при переходе от действия к реальному и воспринимаемому состоянию;
- добавить действие противоположного типа (контур с отрицательной связью);
- использовать такие методы анализа и наблюдения, которые дают небольшие отклонения реального состояния от воспринимаемого.

Применение общих принципов экологической экспертизы к развитию биосферы позволили построить различные модели развития человеческого общества. Экспериментальной основой послужили статистические данные производства продуктов потребления, роста населения, загрязнения окружающей среды. Модель с неустойчивым развитием по сценарию жизни примитивных микроорганизмов рассмотрена ранее на примере брожения гексоз под действием дрожжей.

Поясним этот процесс подробнее. Производство продуктов питания, объем промышленного производства, численность народонаселения возрастает до тех пор, пока истощение ресурсов не приведет к замедлению развития производства. Наличие запаздывания в системе причинно-следственных связей производства: рост населения, загрязнение окружающей среды – приведет к гибели системы из-за загрязнения окружающей среды и нехватки продуктов питания.

Можно предположить, что при неисчерпанных природных и энергетических ресурсах модель предскажет устойчивое развитие.

В действительности моделирование показало, что при неисчерпаемых природных и энергетических ресурсах коллапс и гибель системы наступит к 2100 г.

Модель предсказывает устойчивое развитие человеческого общества при определенных ограничениях параметров экологической системы:



- ограничение роста производства, перераспределение материальных благ в сторону менее развитых стран;
- контроль над рождаемостью;
- комплексное использование вторичных ресурсов, возврат в производство отходов не менее чем на 80%;
- рациональное использование энергетических ресурсов, установление пределов максимального потребления энергии.

Важность комплексного регулирования перечисленных выше параметров иллюстрируется следующим примером. Допустим, нам удалось возвращать в производство 75% вторичных материалов, но рост производства неограничен. Урожайность сельскохозяйственных культур удвоили, осуществили контроль за уровнем рождаемости. Гибель цивилизации в данном случае неизбежна из-за истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды.

## **4. Специальные методы расчетов количества загрязняющих веществ, поступающих в экологические системы**

### **4.1. Расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся при горении топлива**

При сжигании твердого, жидкого, газообразного топлива в атмосферу попадают твердые частицы (зола, пыль, сажа), оксиды серы  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , оксиды азота  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , оксиды углерода (I, II)  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , а также органические вещества. Выбросы загрязняющих веществ происходят вследствие неполного сгорания топлива и в результате перехода неорганических и других примесей в аэрозоли, пыль.

Выброс твердых частиц при горении топлива зависит от состава топлива, конструкции устройства, где происходит горение, эффективности работы пылеулавливающих установок.

При сжигании угля с содержанием минеральной части до 15% вынос твердых частиц за пределы топочной камеры составляет 10–13% от массы топлива, а остальная зола удаляется со шлаком; при сжигании угля, дров в атмосферу поступает в 10–20 раз больше твердых частиц, чем при сжигании жидкого топлива.

Выброс оксида углерода (II) в основном зависит от неудовлетворительного регулирования процесса горения. В небольших топливных установках, печах выброс оксида углерода (II) достигает 2% от массы топлива.

Содержащаяся в топливе сера переходит в сернистый ангидрид, поэтому количество оксидов серы, поступивших в атмосферу, определяется содержанием серы и ее соединений в топливе.

Оксиды азота образуются от сгорания азотосодержащих соединений и в реакциях взаимодействия кислорода воздуха с азотом.

В процессе пиролиза углеводородных топлив получается канцерогенное вещество – бензпирен  $C_{20}H_{12}$ . Образование бензпирена зависит от режима горения – температуры и количества кислорода.

Загрязнение атмосферы бензпиреном значительно возросло в связи с развитием автомобильного транспорта. Ежегодно в атмосферу попадает несколько тысяч тонн бензпирена, одного миллиграмма которого достаточно для того, чтобы вызвать рак легких или кожи. Бензпирен содержится в табачном дыме и является причиной заболевания многих курильщиков.

Запишем формальные схемы химических реакций, протекающих при горении предельных углеводородов топлива:

$2C_nH_{2n+2} + (3n+1)O_2 = 2nCO_2 + 2(n+1)H_2O$  – основная реакция горения;

$2C_nH_{2n+2} + (2n+1)O_2 = 2nCO + 2(n+1)H_2O$  – образование оксида углерода (II);

$2C_nH_{2n+2} + (2n+1)O_2 = nCO_2 + 2(n+1)H_2O + nC$  – образование сажи;

$N_2 + O_2 = 2NO$ ;  $N_2 + 2O_2 = 2NO_2$  – образование оксидов азота;

$S + O_2 = SO_2$  – образование оксида серы (IV);

$C_nH_{2n+2} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + C_{20}H_{12} + \text{продукты пиролиза}$  – образование бензпирена.

Существуют два метода расчета количества загрязняющих веществ образующихся при горении топлива:

- метод удельных показателей выбросов вредных веществ;
- метод параметров работы технологического оборудования.

Метод удельных показателей выбросов вредных веществ относится к упрощенному расчету. Этот метод дает оценочные суммарные количества вредных веществ, поступающих в атмосферу:

$$M_i = \alpha_i Q_i (1 - \eta_i),$$

где  $M_i$  – масса загрязняющего вещества, кг;  $Q$  – количество сжигаемого топлива, кг;  $\alpha_i$  – удельный показатель выброса, кг/кг;  $\eta_i$  – КПД газоочистки или золоуловителя.

Удельный показатель выброса вещества зависит от вида топлива, топочного устройства, условий сжигания горючего вещества.

В табл. 4.1 даны значения показателей выбросов веществ для различных видов топлива.

*Пример 1.* Оценить количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу тепловой электростанцией. Годовая потребность ТЭС в угле – 100 000 т. Газоочистные сооружения отсутствуют. ТЭС работает на угле Сахалинского месторождения.

*Решение.* Для угля Сахалинского месторождения удельные показатели выбросов вредных веществ  $\alpha(\text{тв})$ ,  $\alpha(\text{SO}_2)$ ,  $\alpha(\text{CO})$ ,  $\alpha(\text{NO}_x)$ ,  $\alpha_{\text{б/п}}$  соответственно равны 0,64; 0,0072; 0,049; 0,0019;  $2 \cdot 10^{-5}$ . Рассчитываем массу выбросов:

$$M(\text{тв}) = 100\,000 \cdot 0,064 = 6400 \text{ т/год};$$

$$M(\text{SO}_2) = 100\,000 \cdot 0,0072 = 720 \text{ т/год};$$

$$M(\text{CO}) = 100\,000 \cdot 0,049 = 4900 \text{ т/год};$$

$$M(\text{NO}_x) = 100\,000 \cdot 0,0019 = 190 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{б/п}} = 100\,000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \text{ т/год}.$$

Таблица 4.1

**Удельные показатели выбросов вредных веществ  
при сгорании топлива**

Вид топлива	Удельный показатель, кг/кг (т/т)				
	Твердые вещества	Оксиды серы (IV)	Оксид углерода(II)	Оксиды азота	Бензпирен
	$\alpha_{\text{тв}} \cdot 10^2$	$\alpha_{\text{SO}_2} \cdot 10^2$	$\alpha_{\text{CO}} \cdot 10^2$	$\alpha_{\text{NO}_x} \cdot 10^3$	$\alpha_{\text{б/п}} \cdot 10^5$
Уголь (зола 10–40%)	3–8	2–1	2–7	1–2	1–3
Торф	3–5	1–2	2–4	1–2	1–2

Дрова	2–3	1–2	3–5	8–1	1–2
Мазут	5–6	6–6	3–4	2–3	До 1
Газ	До 0,002	–	1–1,5	2–3	До 5

При неизвестных удельных выбросах вредных веществ для данного вида топлива используют значения табл. 4.1. По табл. 4.1 определяют минимальный и максимальный выброс вредного вещества. Например, при сжигании угля Магаданского месторождения на ТЭС в количестве 100 000 т/год выделится ( $n_i = 0$ ):

- 3000–8000 т/год твердых веществ;
- 200–1000 т/год оксидов серы (IV);
- 2000–7000 т/год оксида углерода (II);
- 100–200 т/год оксидов азота;
- 1–3 т/год бензпирена.

Определение выбросов загрязняющих веществ по параметрам работы технологического оборудования основано на учете эксплуатационных характеристик устройств, в которых сжигается топливо.

Количество золы и несгоревшего жидкого и твердого топлива рассчитывают по формуле

$$M_{\text{тв}} = B \cdot A^r \cdot f \cdot (1 - \eta_i),$$

где  $B$  – расход топлива, г/с, т/год;  $A^r$  – зольность топлива на рабочую массу, %;  $\eta_i$  – доля частиц, улавливаемых золоуловителями;

$$f = \frac{a_{\text{ун}}}{100 - \Gamma},$$

где  $a_{\text{ун}}$  – доля золы, уносимой дымовыми газами из котла;  $\Gamma$  – содержание горючего вещества в газах, %.

Значения  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$  принимают по средним показателям, характерным для данного вида топлива и топочного устройства.

Для удобства и простоты расчетов в табл. 4.2 представлены величины параметров в зависимости от типа топок и видов топлива.

Таблица 4.2

**Параметры, характеризующие выбросы  
загрязняющих веществ**

Тип топки	Вид топлива	$f$	$k_{CO}$	$q_3, \%$	$q_4, \%$
Топки неподвижной решеткой	Уголь	0,0023	1,0	0,5	10–40
С пневматическими забрасывателями	Уголь	0,0026	0,7	0,5–1	3–6
	Антрацит	0,0088	0,7	0,5–1	3–6
топлива	Уголь, торф, дрова	0,0019	2,0	1–2	1–2
Шахтная	Уголь	0,001,	16,	1–3,	1–3,
	Дрова	0,005	14	1–3	1–3
Теплогенератор, слоевая топка	Мазут	0,02	0,32	0,5	0
	газ	0	0,25	0,5	0
Котлы водогрейные					

*Пример 2.* Определить количество твердых веществ, поступающих в атмосферу при сжигании каменного угля в топке с неподвижной решеткой. Расход топлива 200 кг/ч. Коэффициент полезного действия золоуловителя равен 0,7;  $A^p = 28\%$ .

*Решение.* Коэффициент для угля и топки с неподвижной решеткой равен 0,0023. Рассчитываем количество твердых веществ, поступающих в атмосферу:

$$M_{ТВ} = 200 \cdot 0,0023 \cdot 28 (1 - 0,7) = 3,86 \text{ кг/ч.}$$

Количество оксида углерода (II) рассчитывают по формуле

$$M_{CO} = 0,001 \cdot B \cdot C (1 - 0,01q_4),$$

где  $B$  – расход топлива, кг/с, т/год;  $C$  – коэффициент, учитывающий выход вредного вещества при сгорании 1 т топлива или 1000 м<sup>3</sup> газа;  $q_4$  – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %

$$C = q_3 \cdot R \cdot Q_H,$$

где  $q_3$  – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;  $R$  – коэффициент, учитывающий потери теплоты, обусловленные наличием в топливе оксида углерода (II);  $Q_n$  – теплота сгорания топлива (обычно берут низшую теплоту сгорания), МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $R$  принимается для твердого топлива 1,0, для газа – 0,5, для мазута – 0,65.

В отсутствие эксплуатационных данных значения  $q_3$ ,  $q_4$  берут по табл. 4.2.

Ориентировочную оценку выбросов оксида углерода (II) проводят по формуле

$$M_{CO} = 0,001 \cdot B \cdot Q_n \cdot k_{CO} (1 - 0,01q_4),$$

где  $K_{CO}$  – количество оксида углерода (II), образующегося на единицу тепла при горении топлива, кг/МДж (см. табл. 4.2).

*Пример 3.* Определить количество оксида углерода (II), выделяемого при сжигании природного газа в камерной топке. Расход топлива 200 м<sup>3</sup>/ч. Теплота сгорания топлива 35 МДж/м<sup>3</sup>.

*Решение.* Количество оксида углерода, образующегося на единицу тепла, равно 0,25 кг/МДж (табл.4.2). Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива  $q_4 = 0$ .

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 200 \cdot 35 \cdot 0,25 = 1,75 \text{ кг/ч} = 0,49 \text{ г/с}.$$

Методы расчета количества оксидов азота зависят от вида топлива, мощности топочного устройства и его конструкции.

Рассмотрим наиболее простой метод, основанный на учете трех параметров работы – теплотворной способности топлива, расхода топлива, мощности установки:

$$M_{NO_x} = 0,001 \cdot B \cdot Q_n \cdot k_{NO_x} (1 - \eta_i),$$

где  $k_{NO_x}$  – параметр, характеризующий выход оксидов азота на 1 МДж теплоты, кг/МДж;  $\eta_i$  – КПД газоочистных устройств.

Коэффициент  $k_{NO_x}$  находят по табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Значение параметра  $k_{\text{NO}_x}$ , характеризующего количество оксидов азота, выделяющихся при горении топлива**

Вид топлива	Тепловая мощность устройства					
	2 кВт	10 кВт	20 кВт	100 кВт	1000 кВт	1000 кВт
Природный газ, мазут	0,02	0,04	0,05	0,08	0,09	0,12
Антрацит	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,13
Бурый уголь	0,08	0,09	0,12	0,14	0,17	0,23
Каменный уголь	0,08	0,11	0,12	0,15	0,90	0,25
Дрова	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,20

*Пример 4.* Рассчитать количество оксидов азота, выделяющихся при сжигании каменного угля в топке мощность 80 кВт. Теплотворная способность топлива 25 МДж/кг. Расход топлива 200 кг/ч. Газоочистка отсутствует,  $n_i = 0$ .

*Решение.* В табл. 4.3 нет значения для топки мощностью 80 кВт. Необходимо уплотнить табл. 4.3 расчетным путем. Делают это следующим образом. Значение мощности, равное 80 кВт, лежит в интервале 20–100 кВт. Величины  $k_{\text{NO}_x}$  соответственно равны 0,05; 0,08 кг/МДж. Таким образом, на 80 кВт приходится интервал 0,03 кг/МДж, на 1 кВт мощности горелки – 0,03/80. Определяем коэффициент  $k_{\text{NO}_x}$  для мощности 80 кВт:

$$k_{\text{NO}_x} = 0,05 + 0,03/80 (80-20) = 0,073 \text{ кг/МДж.}$$

Рассчитываем количество оксидов азота:

$$M_{\text{NO}_x} = 0,001 \cdot 200 \cdot 25 \cdot 0,073 = 0,37 \text{ кг/ч.}$$

Выброс от котлоагрегатов находят по формуле

$$M_{\text{NO}_x} = 0,034 \cdot K \cdot B \cdot Q_n (1 - 0,01q_n) (1 - \beta_2 r) \beta_1 \cdot \beta_3,$$

где  $K$  – коэффициент выхода оксидов азота на 1 т топлива,

$$K = \frac{12D_1}{200 + D_2} \text{ – паропроизводительность более 70 т/ч;}$$

$$K = D_1/20 \text{ – паропроизводительность менее 70 т/ч,}$$

здесь  $D_1$ ,  $D_2$  – фактическая и номинальная производительность котла на пару, т/ч;  $\beta_1 = 0,5 \dots 2,0$  – коэффициент, учитывающий эффективность рециркуляции топочных газов;  $\beta_2 = 0,01 \text{--} 0,03$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок;  $\beta_3 = 0,85 \text{--} 1,0$  – коэффициент, учитывающий условия горения;  $r$  – степень рециркуляции дымовых газов, %.

*Пример 5.* Оценить погрешность расчета выбросов оксидов азота от котла ДКВР-10-13, работающего на природном газе, если прямые измерения показали массу выброса в количестве 2,54 кг/ч. Расход топлива 0,17 м<sup>2</sup>/с, теплотворная способность газа 36 МДж/м<sup>3</sup>.

*Решение.* Мощность тепловой установки составляет

$$N = 0,17 \cdot 36000 = 6120 \text{ кВт.}$$

Уплотняем табл. 4.3 и находим значение коэффициента  $k_{\text{NO}_x} = 0,107 \text{ кг/МДж.}$

Определяем расчетный выброс и погрешность расчета  $\Delta$ :

$$M_{\text{NO}_x} = 0,107 \cdot 36 \cdot 0,17 \cdot 3600 = 2,36 \text{ кг/ч; } \Delta = (2,54 - 2,36) / 2,54 = 0,07.$$

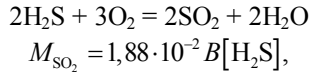
Массу оксидов серы, выделяющихся при сжигании жидкого или твердого топлива, рассчитывают по формуле

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02B \cdot S^p (1 - \eta_1)(1 - \eta_2),$$

где  $S^p$  – содержание серы в топливе, %;  $\eta_1$  – для оксидов серы, связываемых золой топлива; сланцы –  $\eta_1 = 0,5 \text{--} 0,8$ ; угли –  $\eta_1 = 0,2 \text{--} 0,5$ ; торф –  $\eta_1 = 0,15$ ; мазут –  $\eta_1 = 0,02$ ; газ –  $\eta_1 = 0$ ;  $\eta_2$  – КПД газоочистки.

При наличии в топливе сероводорода дополнительное выделение оксидов серы связано с окислением сероводорода:





где  $[\text{H}_2\text{S}]$  – содержание сероводорода в газе, жидком топливе, %.

В отличие от промышленных энергетических установок, в которых сжигается топливо, в автомобильном транспорте выброс вещества не связан с определенными площадями, так как автомобиль – нестационарный источник загрязнения.

Автомобильные газы представляют собой сложную смесь токсичных веществ, основными из которых являются оксиды азота, оксиды углерода (CO), углеводороды, бензпирен, альдегиды.

Состав выхлопных газов зависит от типов двигателя, режима работы, технического состояния, качества топлива, а также уровня обслуживания.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха установлены удельные значения газовых выбросов (табл. 4.4).

Таблица 4.4

#### Выброс вредных веществ при сгорании 1 кг топлива

Наименование вредного вещества	Выброс вредных веществ, кг	
	Карбюраторные двигатели	Дизельные двигатели
Оксид углерода (II)	0,05–0,1	0,01–0,05
Оксиды азота	0,03–0,05	0,04–0,06
Оксиды серы	0,001–0,002	0,01–0,02
Углеводороды	0,03–0,05	0,03–0,05
Сажа	0,005–0,07	0,05–0,1
Бензпирен, мг/кг	0,2	0,3

Вредные вещества поступают в экологические системы не только при сжигании топлива, но и в ходе различных технологических процессов, таких, как сварка, производство и механическая обработка металла, древесины, производство строительных материалов.

Количество вредных веществ определяют по расходным нормам вещества, используемого в данном производстве:

$$M_i = \bar{\alpha}_i \cdot Q_i,$$

где  $\bar{\alpha}_i$  – расходная норма потерь вредного вещества, кг/кг, кг/шт. и т.д.;  $Q_i$  – количество продукции, выпускаемой предприятием, кг, шт. и т.д. Так, при разгрузке цемента расходные нормы составляют 0,2–0,4% от массы цемента и равны 0,002–0,004.

По каждой отрасли, виду продукции установлены расходные нормы веществ, попадающих в атмосферу, воду, почву. При отсутствии расходных норм их рассчитывают в соответствии с регламентом или по технологической карте производства.

Масса вредных веществ, поступающих в окружающую природу, зависит от наличия установок по очистке выбросов. С учетом эффективности очистки количество вредных веществ оценивают по формуле

$$M_i = \alpha_i \cdot Q_i (1 - \eta),$$

где  $\eta$  – КПД очистных сооружений.

## 4.2. Распределение вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха

Неблагоприятное действие вредных веществ на человека снижают путем ограничения концентрации токсичных компонентов в воздухе, воде, почве. Специальные организации, в том числе Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), разрабатывают стандарты, ограничивающие содержание вредных веществ в экологических системах. Стандарты, ограничивающие содержание вредных веществ, называют предельно допустимыми концентрациями (табл.4.5).

В России установлены два типа ПДК – максимальные разовые и среднесуточные (ПДК<sub>м.р.</sub>, ПДК<sub>с.с.</sub>).

Максимальная разовая ПДК при вдыхании в течение 20 – 30 мин не должна вызывать у человека рефлекторных реакций. Среднесуточная ПДК не должна оказывать прямого или косвенного воздействия на человека на протяжении длительного времени. В течение суток человек находится в различных условиях – на работе, в

жилой зоне. В связи с этим введены предельно допустимые концентрации в рабочей зоне (ПДК<sub>р,з</sub>) и воздухе населенных мест (ПДК<sub>н,м</sub>).

Таблица 4.5

**Допустимые уровни загрязнения атмосферного воздуха по рекомендациям экспертов ВОЗ**

Загрязняющее вещество	Допустимый уровень, мг/м <sup>3</sup>	
	Среднегодовой	Разовый
Оксиды серы	0,06	0,2
Взвешенные частицы	0,04	0,12
Оксид углерода (II)	10 (за 8 ч)	40
Окислители (озон)	0,06 (за 8 ч)	0,12

Внедрение новых промышленных технологий, химических веществ приводит к необходимости разработки расчетных методов ПДК. Основой расчетов ПДК является физиологическое и биологическое воздействие вещества на человека:

- порог обонятельного ощущения;
- порог изменения световой чувствительности глаза;
- порог изменения биоэлектрической активности коры головного мозга;
- среднесмертельная доза отравляющего вещества ЛД<sub>50</sub>.

Уравнения линейной регрессии для расчета ориентировочных величин максимальных разовых ПДК имеют вид:

$$\lg \text{ПДК}_{\text{м,р}} = 0,96 \lg x_1 - 0,51 ;$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{м,р}} = 0,93 \lg x_2 - 0,45 ;$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{м,р}} = 0,97 \lg x_3 - 0,23 ,$$

где  $x_1$  – порог обоняния у наиболее чувствительных лиц;  $x_2$  – порог световой чувствительности глаза, мг/м<sup>3</sup>;  $x_3$  – порог изменения биоэлектрической активности коры головного мозга, мг/м<sup>3</sup>.

Сравнив ПДК, найденные с помощью различных методов, берут наиболее чувствительный критерий и находят расчетное значение ПДК<sub>м,р</sub> по уравнению

$$\lg \text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,97 \lg x_4 - 0,21,$$

где  $x_4$  – пороговая концентрация по наиболее чувствительному тесту, мг/м<sup>3</sup>.

Для расчета среднесуточных ПДК используют следующие формулы:

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с}} = 0,86 \lg x_1 - 0,79;$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с}} = 0,88 \lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} - 2,16;$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с}} = 0,62 \lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} - 1,77;$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с}} = 0,58 \lg \text{ЛД}_{50} - 1,6.$$

Определение предельно допустимой концентрации вещества в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования также основано на комплексном санитарно-гигиеническом исследовании:

- определение предельно допустимой концентрации по органолептическому показателю вредности;
- определение предельно допустимой концентрации по санитарно-токсическим показателям;
- определение предельно допустимой концентрации по общесанитарным показателям (окисляемость, самоочищение водоема).

Из трех значений предельно допустимых концентраций берут наименьший норматив.

Расчет предельно допустимой концентрации вредных веществ для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования можно провести по формуле

$$\lg \text{ПДК} = 0,61 \lg \text{ПДК}_{\text{р.з}} - 1,6,$$

где  $\text{ПДК}_\text{т}$  – предельно допустимая концентрация, мг/л;  $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$  – предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>.

Уравнения для расчетов ПДК получены методом регрессионного анализа, отдельные элементы которого рассмотрены в моделировании сложных систем и процессов.

Биологический отклик группы токсичных соединений может быть представлен как сумма активности отдельных веществ, заместителей и функциональных групп, плюс некоторая средняя активность:

$$BO = a_i^0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i,$$

где БО – биологический отклик;  $a_i^0$  – средняя активность компонентов;  $a_i$  – активность отдельных элементов структуры;  $x_i$  – вклад активности.

Приведенные выше уравнения разработаны разными авторами в различные периоды времени, поэтому наиболее целесообразно использовать формулы, дающие минимальное значение ПДК для неизвестных веществ.

Экспериментальные методы измерения количества вредных веществ в экологических системах дают наиболее достоверную информацию о состоянии окружающей среды.

Расчеты ожидаемой концентрации вредного вещества менее трудоемки и более приемлемы для быстрой оценки загрязнения воздуха, воды или почвы.

Рассмотрим несколько алгоритмов расчета рассеивания веществ в атмосфере. Перенос веществ в атмосфере осуществляется полем среднего ветра и турбулентными движениями относительно центра рассеивания. Следует различать три основных потока, осуществляющих перенос вещества – приземный слой, переходный слой, градиентный ветровой поток. Все расчеты выполняются в основном для приземного слоя, на который влияют рельеф и шероховатость Земли,

$H \sim 2$  м.

Градиентный перенос вещества в атмосфере описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$\frac{dm}{dt} = K_x \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 m}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 m}{\partial z^2},$$

где  $m$  – масса вещества;  $K_i$  – коэффициент рассеивания,  $i = x, y, z$ .

Используя модель статистической теории рассеивания, находят концентрацию веществ в приземном слое. Для удобства расчетов решение дифференциальных уравнений с граничными условиями интерполируют различными формулами, которые сводят в нормативные документы. Предполагается, что точность расчетов достигает 20–30%, но необходимо помнить, что реальные атмосферные процессы настолько сложны, что ожидаемые расчетные концентрации вредных веществ могут не соответствовать действительному загрязнению системы.

Максимальное значение приземной концентрации вещества при выбросе газовой смеси при неблагоприятных метеорологических условиях определяют по формуле

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}},$$

где  $C_m$  – максимальная концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>;  $A$  – коэффициент температурной стратификации атмосферы ( $A = 140 - 250$ );  $M$  – мощность выброса, г/с;  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вещества,  $F = 1$  для газов, мелкодисперсных частиц и аэрозолей, для остальных частиц  $F = 2-3$ ;  $m, n$  – коэффициенты, учитывающие условия выброса;  $\eta$  – коэффициент учета рельефа местности, если рельеф не учитывают  $\eta = 1$ ;  $H$  – высота источника выброса с круглым устьем, м;  $V_1$  – расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – разность между температурой смеси и температурой воздуха,

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0,$$

где  $D$  – диаметр устья источника выброса, м;  $\omega_0$  – скорость выхода смеси, м/с.

Коэффициенты  $m, n$  определяют в зависимости от параметров  $f, v_m, v'_m, f_c$ . Если условия выброса не учитывают, то  $m = n = 1$

$$f = 1000 \frac{\omega^2 \cdot D}{H^2 \Delta T}; \quad f_e = 800 (v'_m)^3,$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}; \quad v'_m = 1,3 \omega_0 D / H$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}}, \quad f < 100;$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \quad f \geq 100.$$

Для  $f_e < f < 100$  значение коэффициента  $m$  вычисляют при  $f_e = f$ .

Коэффициент  $n$  при  $f < 100$  определяют в зависимости от  $v_m$  по формулам

$$n = 1, v_m \geq 2;$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13, \quad 0,5 \leq v_m < 2;$$

$$n = 4,4 v_m, \quad v_m < 0,5.$$

При  $f \geq 100$  или  $\Delta T = 0$  и  $v'_m \geq 0,5$  концентрацию вредного вещества рассчитывают так:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot D}{8V_1 \cdot H^{4/3}},$$

где  $n$  определяют по формулам при  $v_m = v'_m$ .

При  $f < 100$ ,  $v_m < 0,5$  или  $f < 100$ ,  $v'_m < 0,5$  (случай предельно малых опасных скоростей ветра) максимальную приземную концентрацию загрязняющего вещества находят следующим образом:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}},$$

где  $m' = 2,86$   $m; f < 100, v_m < 0,5; m' = 0,9; f < 100; v'_m < 0,5.$

Расстояние, на котором наблюдают максимальную приземную концентрацию, находят по формуле

$$x_m = (5 - F) d H / 4 ,$$

где

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}), \quad v_m \leq 0,5, \quad f < 100;$$

$$d = 4,95v_m(1 + 0,38\sqrt[3]{f}), \quad 0,5 < v_m \leq 2, \quad f < 100;$$

$$d = 7\sqrt{v_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f}), \quad v_m \geq 2, \quad f < 100;$$

$$d = 5,7, \quad v_m' \leq 2, \quad f > 100, \quad \Delta T \approx 0;$$

$$d = 11,4v_m', \quad 0,5 \leq v_m' \leq 2, \quad f > 100, \quad \Delta T \approx 0;$$

$$d = 16\sqrt{v_m'}, \quad v_m' > 2, \quad f > 100, \quad \Delta T \approx 0.$$

При неблагоприятных метеорологических условиях приземную концентрацию веществ по оси факела (рис. 4.1) рассчитывают по формуле

$$C = S \cdot C_M,$$

где  $S$  – безразмерный коэффициент, равный:

$$S = 3(x/x_M)^4 - 8(x/x_M)^3 + 6(x/x_M)^2, \quad x/x_M \leq 1;$$

$$S = 1,13 / [0,13(x/x_M)^2 + 1], \quad 1 < x/x_M \leq;$$

$$S = (x/x_M) / [35,2(x/x_M) + 120], \quad x/x_M > 8, F \leq 1,5;$$

$$S = [0,1(x/x_M)^2 + 2,47(x/x_M) - 17,8]^{-1}, \quad x/x_M > 8, F > 1,5.$$



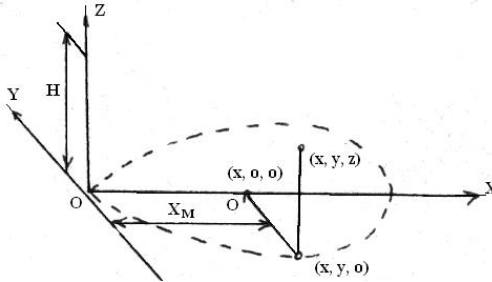


Рис. 4.1. Схема рассеивания веществ в атмосфере:  
 $O'$  – центральная точка рассеивания по оси факела;  $OX$  – ось факела;  $(x, y, z)$  –  
 координаты точек, в которых определяют концентрацию вредных веществ

Следует отметить, что расчетные формулы, приведенные выше, справедливы для максимальных концентраций, лежащих по оси факела рассеивания  $OX$ .

Значение приземной концентрации вредных веществ в точках с координатами  $(x, -y, 0)$ ,  $(x, -y, z)$ ,  $(x, y, z)$ ,  $(0, 0, 0)$  и так далее рассчитывают по другим более сложным формулам, учитывающим различные скорости ветра, отличные от опасных, при которых достигается максимальная приземная концентрация  $C_M$ . Расчет опасной скорости ветра

$$\begin{aligned}
 U_M &= 0,5; \quad v_m < 0,5, \quad f < 100; \\
 U_M &= v_m; \quad 0,5v_m \leq 2, \quad f < 100; \\
 U_M &= v_m (1 + 0,12\sqrt{f}), \quad v_m > 2, \quad f < 100; \\
 U_M &= 0,5, \quad v_m < 0,5, \quad f < 100; \\
 U_M &= v_m', \quad 0,5 < v_m' < 2, \quad f < 100; \\
 U_M &= 2,2v_m', \quad v_m' > 2, \quad f < 100,
 \end{aligned}$$

где  $U_M$  – опасная скорость ветра, м/с, при которой достигается максимальная концентрация загрязняющего вещества  $C_M$ .

Влияние автомобильного транспорта на качество воздуха городских улиц оценивают по содержанию оксида углерода (II) на проезжей дороге.

Формула расчета приземной концентрации оксида углерода (II) представлена в таком виде:

$$C_m = \frac{C_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{\left(V_0 \frac{\bar{H}}{30}\right)^{1/3}},$$

где  $C_0 = 7,39 + 0,26N + A_1 + A_2 + A_3$ ;  $N$  – интенсивность движения автомобилей, шт/ч;  $A_1$  – соотношение грузового и автобусного транспорта, %;  $A_2$  – отклонение от скорости движения 40 км/ч, %;  $A_3$  – поправка на продольный дороги, на каждые  $2^\circ$  добавляют 1,5%  $C_m$ ;  $K_1$  – коэффициент улучшения технического обслуживания;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий внедрение каталитических средств обезвреживания выбросов;  $K_3$  – коэффициент внедрения малотоксичных рабочих двигателей;  $V_0$  – скорость ветра на улице (1–10 м/с);  $\bar{H}$  – ширина улицы (3–100 м);  $C_m$  – концентрация оксида углерода г, мг/м<sup>3</sup>.

Коэффициенты, учитывающие различные факторы выбросов, даны в табл. 4.6, 4.7.

Таблица 4.6

**Поправки на изменение скорости движения  
потока автомобилей**

Доля грузового транспорта, %	Поправка, %, при скорости движения, км/ч						
	20	30	40	50	60	70	80
80	12	6	0	-14	-3	6	16
70	14	8	0	-13	-5	4	12
60	17	9	0	-12	-6	-2	8
50	20	10	0	-11	-7	-1	4
40	23	11	0	-10	-9	-8	-1
30	26	13	0	-9	12	-16	-65
20	25	14	0	-8	15	-20	10
10	30	15	0	-7	18	-26	17

Таблица 4.7

**Коэффициенты, учитывающие снижение выбросов оксида углерода (II) в зависимости от улучшения технического обслуживания**

К	Улучшение обслуживания, %									
	0	10	20	30	40	50	60	80	90	100
$K_1$	1	0,92	0,85	0,78	0,71	0,63	0,56	0,41	0,33	0,25
$K_2$	1	0,94	0,87	0,81	0,74	0,67	0,61	0,47	0,41	0,35
$K_3$	1	0,96	0,92	0,88	0,84	0,76	0,76	0,68	0,64	0,60

Расчет концентрации оксида углерода (II) по краю проезжей дороги дает возможность определить уровень загрязнения на линии застройки и разработать санитарно-оздоровительные рекомендации, улучшающие экологическую обстановку в регионе.

### **4.3. Прогноз качества воды рек и водоемов при сбросе загрязняющих веществ**

Прогнозирование качества воды осуществляется с целью ее охраны от загрязнения, определения соответствия санитарным правилам и нормам, установленным для водных объектов. Основные показатели качества воды:

- качественный и количественный состав молекулярных растворов;
- наличие взвешенных и коллоидных частиц (твердых, жидких);
- биохимическое потребление кислорода, связанное с деятельностью микроорганизмов;
- качественный и количественный биохимический состав (наличие бактерий, спор и других микроорганизмов).

Различают консервативные и неконсервативные загрязняющие вещества. Консервативные загрязнители не меняют концентрацию с течением времени. Содержание неконсервативных загрязнителей изменяется во времени.

Деление веществ на неконсервативные и консервативные условно, так как содержание практически всех компонентов в воде зависит от временного фактора.

Концентрация загрязняющего вещества зависит от фона, степени разбавления и загрязнения сброса:

$$C = C_{\phi} + \sum_{i=1}^k \frac{C_i - C_{\phi}}{n_i},$$

где  $C$  – концентрация вещества в водоеме,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_i$  – концентрация

вещества в стоке,  $\text{кг/м}^3$ ;  $n_i$  – разбавление сточной воды;  $k$  – число источников сброса.

Для неконсервативных веществ учитывают фактор очищения воды под действием внешних условий:

$$C = 10^{-k_1 t} \left( C_\phi + \sum_{i=1}^k \frac{C_i - C_\phi}{n_i} \right),$$

где  $k$  – коэффициент неконсервативности, учитывающий самоочищение воды,  $\text{с}^{-1}$ ,  $\text{сут}^{-1}$ .

Снижение или увеличение температуры воды в водоеме в результате сброса выражается следующим образом:

$$T = \sum_{i=1}^k \frac{T_i - T_\phi}{n_i},$$

где  $T_i$  – температура стока,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_\phi$  – температура водоема или реки.

Таким образом, для экспертной оценки качества воды необходимо знать физико-химические свойства сточной воды и ее разбавление в водоеме.

Существуют специальные методы расчетов разбавления сточных вод в водоемах. Наиболее простой рассмотрен в задаче с помощью материального баланса:

$$W_0 C_\phi + C_1 W_1 = C (W_0 + W_1),$$

где  $W_0$  – расход воды в реке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $W_1$  – расход воды в стоке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_\phi$ ,  $C$  – соответственно концентрация фоновая в стоке и в реке после сброса загрязненной воды,  $\text{кг/м}^3$ .

Решим уравнение материального баланса относительно параметра  $C$ :

$$C_\phi \frac{W_0}{W_0 + W_1} + C_1 \frac{W_1}{W_0 + W_1} = C.$$

Сравним полученное уравнение с уравнением для расчета концентрации загрязняющего вещества в воде и найдем разбавление стока:

$$n = \frac{W_0 + W_1}{W_1} = 1 + \frac{W_0}{W_1}.$$

Уравнение материального баланса дает возможность рассчитать концентрации загрязняющего вещества при условии, что речная вода полностью смешивается с водой стока. Это условие реализуется при сопоставимых расходах стока и речной воды.

В реальных условиях разбавление стока зависит от коэффициента смешения, показывающего, какая часть речной воды смешивается со сточной:

$$n = 1 + \gamma \frac{W_0}{W_1},$$

где  $\gamma$  – коэффициент смешения.

Коэффициент смешения рассчитывают следующим образом:

$$\gamma = \left[ \exp(-\alpha \sqrt[3]{l}) \right] / \left[ 1 + \frac{W_0}{W_1} \exp(-\alpha \sqrt[3]{l}) \right],$$

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \sqrt[3]{\frac{D}{W_i}}; \quad D = \frac{9,8 \cdot v \cdot H}{C^2};$$

$$C = \frac{1}{0,03} H^y; \quad y = 0,26, \quad H = 1, \quad y = 0,23,$$

$$H > 1,$$

где  $\varphi$  – коэффициент извилистости реки, равный отношению расстояний по берегу и по фарватеру;  $\xi$  – коэффициент выпуска:  $\xi = 1$  при выпуске стока у берега,  $\xi = 1,5$  при выпуске в речной поток;  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии;  $v$  – скорость речного потока, м/с;

$H$  – глубина реки, м;  $l$  – расстояние от места сброса до точки отбора пробы воды, м; 0,03 – коэффициент шероховатости ложа реки.

Ориентировочная оценка коэффициента  $\alpha$  (при 20 – 30% точности расчетов):

$$\alpha = 0,2\varphi \cdot \xi \cdot H^{1/6} \cdot v^{1/3} \cdot W_i.$$

Прогноз качества воды оказывается тем ближе к действительности, чем лучше учтены гидравлические условия в водоеме. Так, из расчетных формул следует, что в зоне непосредственного смешения стока с водой реки могут меняться параметры турбулентного движения жидкости, а в зависимости от их изменения и коэффициент смешения.

Разбавление сточных вод в контрольном створе (пункт отбора воды на проверку качества находится на расстоянии 500 – 1000 м от места сброса) может не достигать нужных значений. Для достижения качества воды применяют метод рассеивающего выпуска. В рассеивающем выпуске сброс сточных вод осуществляют по всей ширине реки, увеличивая коэффициент смешения.

Разбавление сточной воды в водохранилищах и озерах зависит от начального и конечного разбавления, которое определяет общее разбавление, равное

$$n = n_n \cdot n_0,$$

где  $n_n$  – начальное;  $n_0$  – конечное;  $n$  – общее разбавление.

При определении разбавления в водохранилищах и озерах рассматривают три случая:

- выпуск сточных вод происходит у берега, загрязняющее вещество распространяется вдоль берега;
- выпуск сточных вод осуществляют на некотором расстоянии от берега, распространение загрязняющего вещества происходит к берегу против выпуска;
- выпуск стока осуществляют на некотором расстоянии от берега, загрязнение распространяется параллельно берегу.

Для первого и второго случая начальное и конечное разбавление рассчитывают по формулам:

$$n_n = (W_1 + 0,0022\omega H^2) / (W_1 + 0,00022\omega H^2);$$

$$n_0 = 1 + 0,4(l/\Delta x)^{0,627 + 0,00022(l/\Delta x)};$$

$$\Delta x = 6,53 \cdot H^{1,17}; \quad H = (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_m) / m,$$

где  $\omega$  – скорость ветра, м/с (при неизвестных значениях берут примерно 5 м/с).

Формулы справедливы при выпуске сточных вод у берега или в мелководье в верхнюю треть глубины, а расстояние до контрольного пункта отбора проб не превышает 20 км. Ширина водоема в месте выпуска не менее 500 м.

При выпуске сточных вод в нижнюю треть глубины используем следующие формулы:

$$n_n = (W_1 + 0,0016\omega H^2) / (W_1 + 0,00016\omega H^2);$$

$$n_0 = 1,85 + 2,32(l/\Delta x)^{0,4+0,0064(l/\Delta x)};$$

$$\Delta x = 4,4 \cdot H^{1,17}; \quad H = (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_m) / m.$$

В остальных случаях разбавление и концентрации веществ рассчитывают методом параллелепипедов, при этом водоем разбивается на параллелепипеды определенной длины, высоты и ширины и в каждом участке воды находят концентрацию загрязняющего вещества.

В замкнутых водоемах, водохранилищах, озерах при сбросе сточных вод происходит накопление веществ. Увеличение концентрации вещества со временем при условии полного смешения воды водоема и стока оценивают из уравнения материального баланса для системы водоем–сток:

$$C (V_0 + \bar{V} \cdot t) = \bar{V} \cdot t \cdot C_0,$$

где  $C$  – концентрация вещества в водоеме к моменту времени  $t$ , кг/м<sup>3</sup>;  $V_0$  – объем воды в водоеме, м<sup>3</sup>;  $\bar{V}$  – скорость сброса сточной воды, м<sup>3</sup>/с;  $t$  – время сброса сточной воды, с;  $C_0$  – концентрация вещества в стоке, кг/м<sup>3</sup>.

Решим уравнение относительно параметра  $C$ :

$$C = C_0 \frac{\bar{V} \cdot t}{V_0 + \bar{V} \cdot t}.$$

Для начальных моментов сброса  $C = C_0 \frac{\bar{V}t}{V_0}$  при  $\bar{V} \cdot t \ll V_0$ .

При длительном сбросе  $\bar{V}t \gg V_0$   $C = C_0$  при  $\bar{V} \cdot t \gg V_0$ .

Неконсервативность отдельных компонентов загрязнения учитывают только в том случае, когда имеют надежные и достоверные значения коэффициентов неконсервативности (табл. 4.8).

Неконсервативность веществ равна нулю в том случае, когда в процессе биохимической деструкции исходных компонентов образуются продукты более высокой токсичности. Так, все соединения ртути являются токсичными, поэтому неконсервативность ртути в воде равна нулю.

Таблица 4.8

**Коэффициенты неконсервативности органических веществ в статических условиях при температуре 20 °С**

Вещество	Коэффициент неконсервативности, сут <sup>-1</sup>
Формальдегид	0,61
Стиральный порошок	0,26
Метанол	0,25
Этанол	0,22
Фенол	0,17
Изобутанол	0,13
Гидрохинон	0,017
Азот аммонийный	0,03
Нефтепродукты	0,019

Более того, при сбросе соединений ртути в воду при участии микроорганизмов происходит образование метилртутных соединений, аккумулируемых водными организмами. Концентрация в рыбе соединений ртути возрастает в 3000 раз по сравнению с окружающей средой. Употребление такой рыбы в пищу приводит к тяжелым поражениям центральной нервной системы и изменению наследственности.

#### 4.4. Нормирование выбросов загрязняющих



## **Веществ**

Инвентаризацию выбросов вредных веществ проводят с целью учета их поступления в атмосферу, разработки мероприятий улавливания и обезвреживания токсичных компонентов, установления нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) и временно согласованных выбросов (ВСВ).

Проведение инвентаризации включает:

- установление источников загрязнения воздушного бассейна;
- характеристику источников выбросов вредных веществ;
- установление показателей работы газоочистных и пылеулавливающих установок;
- составление суммарных выбросов вредных веществ по каждому компоненту;
- установление показателей выбросов вредных веществ при работе автотранспорта.

Все источники загрязнения воздуха подразделяют на источники выделения и источники выбросов веществ.

Источник выделения – это агрегат, установка, аппарат, выделяющий вредное вещество в процессе эксплуатации.

Источник выброса – устройство, посредством которого осуществляется выброс вредных веществ в атмосферу.

Выбросы вредных веществ подразделяют на организованные и неорганизованные.

Организованные выбросы – специальная система газоотводов, неорганизованные – негерметичность оборудования, резервуаров.

Инвентаризацию проводят для организованных и неорганизованных выбросов.

В разделе «Характеристика источников выбросов вредных веществ» указывают номера источников выбросов и их координаты (на предприятие «набрасывают» координатную сетку), температуру газозвушной смеси, количество вредных веществ и мощность выброса (г/с, т/год), сведения о высоте источников выбросов и диаметре устья труб.

В разделе «Показатели работы газоочистных и пылеулавливающих установок» показывают наименование вредных веществ, по которым проводят очистку, концентрацию веществ до и

после очистки, параметры работы газоочистного и пылеулавливающего оборудования.

Инвентаризацию выбросов заканчивают заполнением специальных бланков инвентаризации по каждому разделу.

Расчет нормативов ПДВ проводят по каждому источнику выброса:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}, \quad f < 100;$$

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8V_1}{\Phi}, \quad f \geq 100; \Delta T \approx 0.$$

При наличии группы источников выбросов с одинаковыми вредными веществами значения ПДВ<sub>1</sub>, ПДВ<sub>2</sub>, ПДВ находят по формуле

$$\text{ПДВ}_i = M_i,$$

где  $M_i$  – такие значения выбросов от каждого источника, которые приняты при расчетах загрязнения атмосферы от всей совокупности источников и при которых максимальная суммарная концентрация в атмосфере не превышает ПДК –  $C_{\phi}$  или  $0,8\text{ПДК} - C_{\phi}$  для территорий, подлежащих особой охране.

В расчетах предельно допустимых выбросов необходимо учитывать следующий важный фактор. Некоторые вещества обладают суммирующим вредным действием. Эффектом суммации обладают ацетон и фенол, оксиды серы и оксиды азота, пары серной, соляной и азотной кислот, циклогексан и бензол и т.д. Для веществ, обладающих суммацией вредного действия, вводят безразмерную концентрацию вещества и соответственно безразмерную мощность выброса:

$$q = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

$$M_q = \frac{M_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{M_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{M_n}{\text{ПДК}_n} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\text{ПДК}_i},$$

где  $q$  – безразмерная концентрация веществ, обладающих эффектом суммации,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $M_q$  – безразмерная мощность выброса,  $\text{г}/\text{с}$ ;  $M_i$  – мощность выброса каждого вещества,  $\text{г}/\text{с}$ .

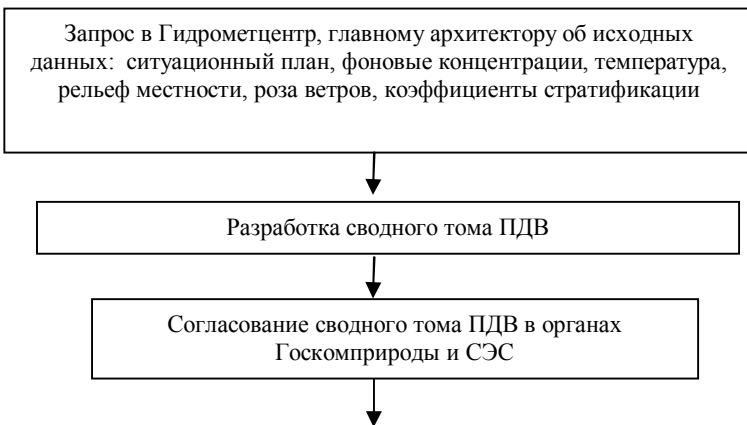
Учет эффекта суммирующего вредного действия проводят путем подстановки в формулы для расчета величины мощности  $M$  и соблюдения условия

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1; \quad \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1.$$

Технологический процесс, предприятие, природное явление оказывают воздействие на экологическую систему.

Зона влияния процесса оценивается как наибольшее из двух расстояний  $X_1$ ,  $X_2$ . Расстояние  $X_1$  равно  $10 X_m$ , а расстояние  $X_2$  находится из условия  $C = 0,05 \text{ ПДК}$ . Зоны влияния источников и предприятий рассчитывают по каждому веществу.

Схема последовательности работ разработки норм ПДВ показана на рис. 4.2.



Создание рабочей документации для предприятий
---

Рис. 4.2. Схема последовательности работ по созданию норм ПДВ

Предприятия, имеющие выбросы в атмосферу, обязаны составить проект нормативов ПДВ. Проект нормативов ПДВ состоит из следующих частей:

- титульный лист;
- список исполнителей, разрабатывающих проект;
- аннотация, в которой указаны основные результаты проектирования нормативов выбросов;
- содержание;
- введение с перечнем основных документов, на основании которых разработан проект ПДВ;
- общие сведения о предприятии, процессе;
- характеристика предприятия как источника загрязнения атмосферы;
- обоснования достоверности исходных данных, принятых для расчета с указанием документации;
- сведения об эколого-экономическом ущербе, причиняемом выбросами предприятия;
- характеристика метеорологических условий, определяющих рассеивание выбросов;
- карты рассеивания вредных веществ;
- мероприятия по достижению нормативов ПДВ;
- контроль за соблюдением выбросов.

Остановимся подробно на мероприятиях по защите воздушной среды от загрязнений, которые подразделяют на технологические, технические, планировочные, архитектурные, организационные.

Технологические мероприятия направлены на создание безотходных и малоотходных производств, замену токсичных веществ на безвредные или менее опасные, замену твердого или жидкого топлива горючим с низким содержанием серы или газообразным, использование оборудования с улучшенными санитарно-гигиеническими характеристиками.

Технические мероприятия – это работы по рекуперации и очистке вредных веществ, создание коллекторных газо- и пылеулавливающих систем.

Планировочные мероприятия включают компоновку промышленной площадки с учетом метеорологических условий:

- не размещают предприятия в районах со слабыми ветрами менее 1 м/с, часто повторяющимися штилями, инверсиями, туманами;

- не располагают предприятия в районах, имеющих большие фоновые концентрации загрязняющих веществ, одноименные с выбрасываемыми веществами или обладающие суммирующим вредным действием;

- предприятия не размещают с наветренной стороны по отношению к жилой застройке для ветров преобладающего направления;

- территория площадных источников выбросов должна располагаться на горизонтальной площадке вытянутой формы с ориентацией длинной осью перпендикулярно преобладающему направлению ветра;

- необходимо осуществить правильную компоновку зданий и рационально расположить источники выбросов, исключив наложение факелов распространения примесей.

Архитектурные мероприятия способствуют снижению размеров циркуляционных зон, образующихся у зданий при обтекании их ветром и накоплению в этих зонах загрязняющих веществ. Так, при длине здания больше чем 10 высот устраивают сквозные проемы для снижения зон циркуляции.

Организационные мероприятия направлены на соблюдение технологической дисциплины по эксплуатации оборудования, основных процессов, газо- и пылеочистных установок, обеспечение контроля за установленными нормативами выбросов, контроль за состоянием воздушной среды на территории предприятия и в зоне влияния процессов на природу.

Контроль за состоянием воздушной среды ведут как прямыми методами, так и расчетными, с использованием унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА). Как правило, на крупных предприятиях число источников выбросов достигает нескольких сотен, поэтому расчет максимальной концентрации

загрязняющих веществ при различных скоростях ветра, учете рельефа местности возможен только с применением УПРЗА.

*Таблица 4.9*

### **Класс опасности предприятия и размер санитарно-защитной зоны**

Класс опасности предприятия	1	2	3	4	5
Размер санитарно-защитной зоны	1000	500	300	100	50

Все промышленные предприятия, технологические процессы, выделяющие вредные вещества, классифицируют согласно «Санитарным нормам проектирования промышленных предприятий» СН 245-71 на пять классов (табл. 4.9).

В соответствии с санитарной классификацией производств приняты следующие размеры санитарно-защитных зон – участков, на которых не ведут строительство жилых зданий, запрещено проживание людей, не размещают стадионы, парки, другие учреждения.

Размер санитарно-защитной зоны увеличивают в следующих случаях:

- при неэффективности очистки выбросов;
- в отсутствие способов очистки;
- в условиях неблагоприятной розы ветров;
- при выделении в производствах вредных веществ, недостаточно изученных в санитарном отношении.

Проектирование, озеленение санитарно-защитной зоны осуществляют по специальной программе работ, включающей технико-экономическое обоснование целесообразности мероприятий по защите атмосферы.

## **4.5. Нормирование сбросов загрязняющих веществ**

Природные воды подразделяют на поверхностные и подземные. Загрязнение воды происходит в результате сброса производственных и бытовых стоков по трубопроводам, лоткам, отводящим каналам или при сливе загрязнителей в водоемы.

Загрязнение подземных вод происходит вследствие фильтрации стоков с поверхности земли, а также путем сброса сточных вод в подземные горизонты.

Для установления количественного и качественного состава загрязнителей проводят инвентаризацию сбросов. Инвентаризация сбросов – это основа разработки норм ПДС, ведения государственного водного кадастра, разработки мероприятий по охране природы.

В бланках инвентаризации отражают показатели качества сточных вод по всем компонентам, загрязняющим воду, включая биохимическое потребление кислорода (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК), наименование источников выбросов, расстояние от устья реки до места сброса.

Гигиенические требования к составу и свойствам воды установлены для трех категорий водопользования:

- культурно-бытовое пользование;
- хозяйственно-питьевое водоснабжение;
- рыбохозяйственные водоемы.

Нормативы для каждой категории водопользования изложены в Санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнений. Нормативы и требования к качеству воды распространяются на сбросы производственных, сельскохозяйственных, животноводческих предприятий, стоки от жилых и общественных зданий, дренажных вод с орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных территорий. Условия отведения сточных вод в водные объекты определяются следующими факторами:

- степень смешения и разбавления сточных вод с водой реки, озера на участке от места выпуска до контрольного створа;
- фоновым качеством воды выше места выпуска сточных вод по анализам не более двухлетней давности;
- нормативами качества воды, изложенными в Санитарных правилах и нормах применительно к рассматриваемому виду водопользования (табл. 4.10).

*Таблица 4.10*

**Гигиенические требования к составу и свойствам воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования**

Показатель	Централизованное водоснабжение пищевых предприятий	Водоемы для купания, отдыха в черте населенных мест
------------	--	---

Взвешенные вещества	(Сф+0,255) мг/л	(Сф+0,75) мг/л
	К спуску запрещены взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с и 0,2 мм/с для проточных водоемов и водохранилищ	
Плавающие вещества	На поверхности водоемов не должны быть пленки, масла, другие примеси	
Запахи	Менее 1 балла, в том числе при хлорировании	Менее 1 балла, в том числе при хлорировании
Окраска	Отсутствие в столбе жидкости 20 см	Отсутствие в столбе жидкости 20 см
Температура	Не должна превышать на 3° С после сброса стока по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет	
рН	Интервал рН 5,8-6,8	
Минеральный состав	Не более 1000 мг/л, в том числе хлориды 350 мг/л, сульфаты 500 мг/л	
Кислород	Не менее 4 мг/л	
БПК	3 мг/л	6 мг/л
ХПК	15 мг/л	30 мг/л
Возбудители заболеваний	Отсутствие	
Химические вещества	< ПДК	

Предельно допустимый сброс веществ – это мощность сброса загрязнителей в сточных водах, максимально допустимая к отведению в данном месте, обеспечивающая нормативное количество воды в контрольном пункте.

В соответствии с данным определением ПДС рассчитывают как произведение максимального расхода сточных вод на концентрацию в них загрязняющих веществ:

$$\text{ПДС} = q_i \cdot C_i,$$

где ПДС – предельно допустимый сброс, кг/с; г/с; мг/с;  $q_i$  – максимальный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $C_i$  – максимальная концентрация загрязняющего вещества, кг/м<sup>3</sup>, мг/м<sup>3</sup>, г/м<sup>3</sup>.

Максимальную концентрацию загрязняющего вещества находят из формулы

$$\text{ПДК} = C_{\phi} + \sum_{i=1}^N \frac{C_i - C_{\phi}}{n_i},$$



где ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_\phi$  – фоновая концентрация вещества,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $n_i$  – разбавление.

При выпуске загрязняющего вещества в одной точке ( $i = 1$ ) формула для расчета концентрации имеет вид

$$C_i = (\text{ПДК} - C_\phi) n + C_\phi.$$

Расчет ПДС для веществ, обладающих суммирующим токсикологическим действием (для водоемов этот показатель называют лимитирующим показателем вредности, ЛПВ), проводят с учетом условия

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_N}{\text{ПДК}_N} \leq 1; \quad \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_N$  – максимальные концентрации вещества в сточных водах,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Необходимо обратить внимание, на то что при фактическом сбросе вредных веществ меньше расчетного ПДС за величину ПДС принимают фактический сброс вещества.

*Пример 1.* В водоем для рыбохозяйственных целей сбрасывают сток, содержащий азот аммонийный, азот нитратный, железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), сульфаты, фосфаты. Рассчитать ПДС загрязняющих веществ, если средняя глубина водоема 2,3 м, а расстояние от места сброса до контрольной точки отбора проб воды на качество – 100 м. Расход воды 10,8  $\text{м}^3/\text{ч}$  или 0,003  $\text{м}^3/\text{с}$ . Фоновые концентрации загрязняющих веществ составляют соответственно 0,37; 3,90; 0,37; 77,40; 2,00  $\text{мг}/\text{л}$ .

*Решение.* При выпуске сточных вод в мелководье ( $H < 5$  м) или верхнюю треть глубины водоема кратность начального разбавления равна

$$n_N = (0,003 + 0,0118 \cdot 2,3^2) / (0,003 + 0,00118 \cdot 2,3^2) = 7,08.$$

Основное разбавление рассчитываем по формуле

$$n_0 = 1 + 0,4(l/\Delta x)^{0,627+0,00022(l/\Delta x)};$$

$$\Delta x = 6,53 \cdot H^{1,17}; \quad \Delta x = 6,53 \cdot 2,3^{1,17} = 17,3; \quad l/\Delta x = 100/17,3 = 5,8;$$

$$n_0 = 1 + 0,4(5,8)^{0,627+0,00022(5,8)} = 2,24.$$

Общая кратность разбавления равна произведению начального и основного разбавления:

$$n = n_n \cdot n_0 = 7,08 \cdot 2,24 = 15,9.$$

Используя найденную кратность разбавления, запишем уравнение для расчета концентрации загрязняющего вещества в стоке и определим ПДС:

$$C = (\text{ПДК} - C_\phi) n + C_\phi.$$

Азот аммонийный ( $\text{NH}_4^+$ ):

$$C = (0,5 - 0,37)15,9 + 0,37 = 2,44 \text{ мг/л};$$

$$\text{ПДС} = 2,44 \cdot 10,8 = 26,3 \text{ г/ч}.$$

Азот нитратный ( $\text{NO}_3^-$ ):

$$C = (9,1 - 3,9)15,9 + 3,9 = 86,6 \text{ мг/л};$$

$$\text{ПДС} = 86,6 \cdot 10,8 = 935 \text{ г/ч}.$$

Железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ):

$$C = (0,05 - 0,37) \cdot 15,9 + 0,37 = -4,7 \text{ мг/л}.$$

При отрицательных расчетных значениях параметра  $C$  концентрацию загрязняющего вещества принимают на уровне фона: 0,37 мг/л.

$$\text{ПДС} = 0,37 \cdot 10,8 = 4 \text{ г/ч}.$$

Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ):

$$C = (100 - 77,4)15,9 + 77,4 = 437 \text{ мг/л};$$

$$\text{ПДС} = 437 \cdot 10,8 = 4717 \text{ г/ч}.$$

Фосфаты ( $\text{PO}_4^{3-}$ ):

$$C = (0,25 - 2,0)15,9 + 2,0 = -25,8 \text{ мг/л.}$$

При отрицательных величинах  $C$  концентрацию загрязняющего вещества принимаем на уровне фона 2,0 мг/л:

$$\text{ПДС} = 2,0 \cdot 10,8 = 21,6 \text{ г/ч.}$$

В проект ПДС, кроме расчетов и установленных нормативов сбросов, входят следующие разделы:

- введение с указанием нормативной литературы и правил составления проекта ПДС;
- краткая характеристика предприятия и результаты инвентаризации сбросов вредных веществ;
- исходные данные, принятые для расчета ПДС с указанием документации, используемой в расчетах: гидрологические параметры водного бассейна, фоновые концентрации загрязнителей, результаты анализов стоков в специализированной лаборатории;
- расчет кратности разбавления сточных вод;
- расчет концентрации загрязняющих веществ и предельно допустимых сбросов;
- мероприятия по достижению нормативов ПДС.

Мероприятия по охране водоемов от загрязнения классифицируют на технологические, технические, планировочные, организационные.

Меры технологического характера направлены на разработку и применение безотходных производственных технологий, утилизацию компонентов сырья, побочных продуктов производства, сокращение водопотребления и водоотведения за счет внедрения оборотного водоснабжения.

Раработка технологических мер – наиболее перспективное и радикальное направление охраны водоемов.

Технологические меры включают внедрение новых методов очистки стоков, создание централизованных коллекторных систем, позволяющих регулировать подачу стоков на очистные сооружения.

Технологические меры позволяют:

- очищать бытовые и промышленные стоки от твердых плавающих веществ (решетки);
- извлекать песок (песколовки);

– извлекать органические и неорганические вещества (отстойники);

– проводить обеззараживание стоков (хлораторы, озонаторы).

В системе планировки населенных мест важное значение имеет правильный выбор места сброса сточных вод. При размещении выпусков необходимо учитывать влияние течения и ветровых нагонов воды.

Между очистными сооружениями и границей жилой застройки устанавливаются санитарно-защитная зона (табл. 4.11).

Таблица 4.11

**Размеры санитарно-защитной зоны для очистных сооружений**

Тип очистных сооружений	Размеры зоны при производительности очистных сооружений, м			
	200 м <sup>3</sup> /сут	5000 м <sup>3</sup> /сут	50 000 м <sup>3</sup> /сут	200 000 м <sup>3</sup> /сут
Механическая и биологическая очистка иловыми площадками	150	200	400	500
Механическая и биологическая очистка закрытых помещениях	100	150	300	400
Поля фильтрации	200	300	500	1000

Допускается увеличение размеров санитарно-защитных зон, но не более чем в 2 раза при расположении жилой застройки с подветренной стороны.

Организационные мероприятия включают санитарный контроль водоемов, оценку эффективности очистки и соблюдения нормативов сбросов.

Текущая работа по санитарному контролю состоит из общего наблюдения и специального наблюдения за состоянием водоемов.

Общее наблюдение – контроль показателей гидрологического состояния, почвенно-топографические характеристики водозабора и сброса стоков, санитарное состояние прибрежной зоны.

Специальное наблюдение – контроль за сбросами по токсичным компонентам, контроль за соблюдением ПДС, исследование физико-химических свойств воды.

#### 4.6. Основные положения экспертизы по охране биосферы от ионизирующих излучений

Действие излучения на вещество оценивают по дозе излучения. Дозой излучения называют величину, равную отношению энергии излучения к массе облучаемого вещества:

$$D = \bar{Q}/m,$$

где  $D$  – доза излучения, Дж/кг;  $\bar{Q}$  – энергия поглощенного излучения, Дж;  $m$  – масса облучаемого вещества, кг.

Единицей дозы облучения является грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица 1 рад=100 эрг/г равна 0,01 Гр.

Мощность дозы излучения – ватт на килограмм, Вт/кг, или Гр/с:

$$N = \bar{Q}/m \cdot t.$$

Энергетической характеристикой излучения является экспозиционная доза излучения – это количественная характеристика рентгеновского и гамма-излучений, определяемая по ионизации воздуха:

$$D_3 = q_{\pm}/m^B,$$

где  $q_{\pm}$  – количество зарядов одного знака, созданных при облучении воздуха, Кл;  $m^B$  – масса воздуха, кг.

По энергетическим характеристикам 1 Кл/кг равен 33 Дж/г для воздуха (87,3 эрг/г).

Внесистемной единицей экспозиционной дозы служит рентген (Р), 1 Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг. При экспозиционной дозе, равной 1 Р в  $10^{-6}$  м<sup>3</sup> сухого воздуха и давлении  $1,013 \cdot 10^5$  Па, возникает заряд ионов одного знака  $3,3 \cdot 10^{-8}$  Кл.

Мощность экспозиционной дозы  $N_3$  выражается в амперах на килограмм (А/кг). Это мощность такой дозы ионизирующего электромагнитного излучения, при которой за одну секунду экспозиционная доза возрастает на 1 Кл/кг. Внесистемные единицы

мощности экспозиционной дозы:  $1 \text{ Р/с} = 2,59 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$ ,  $1 \text{ Р/мин} = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ А/кг}$ ;  $1 \text{ Р/ч} = 7,17 \cdot 10^{-8} \text{ А/кг}$ .

В области радиационной безопасности для оценки возможного ущерба здоровью человека при хроническом облучении введено понятие эквивалентной дозы, равной произведению поглощенной дозы на средний коэффициент, учитывающий воздействие облучения на биологическую ткань:

$$\text{ЭД} = D \cdot W_R,$$

где ЭД – эквивалентная доза облучения, Дж/кг;  $W_R$  – взвешивающий коэффициент излучения (табл. 4.12).

Таблица 4.12

### Взвешивающие коэффициенты

Вид излучения	$k^0$
Фотоны любых энергий	1
Электроны, позитроны, гамма-излучение, бета-излучения	1
Протоны с энергией < 5 МэВ	5
Нейтроны с энергией <10 кэВ	5
Нейтроны с энергией 10...100 кэВ	10
Нейтроны с энергией 100 кэВ...2 МэВ	20
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Ранее в расчетах эквивалентной дозы коэффициент  $W_R$  называют коэффициентом качества излучения ( $K$ ). В Нормах радиационной безопасности НРБ–99/2009 указанный коэффициент  $W_R$  называют – взвешивающий коэффициент для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы. Единицу эквивалентной дозы, равной 1 Дж энергии на 1 кг массы биологической ткани, называют зивертом (Зв). За внесистемную единицу эквивалентной дозы принимают биологический эквивалент рентгена – бэр.

Биологический эквивалент рентгена – это количество энергии, поглощенной биологической тканью при получении любым видом ионизирующей радиации, вызывающее такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 рад рентгеновского или гамма-излучения с энергией 200–250 кэВ.

Таким образом, можно вывести следующие соотношения:

$$1 \text{ бэр} = W_R \cdot 1 \text{ рад} = W_R \cdot 100 \text{ эрг/г} = W_R \cdot 0,01 \text{ Гр} = \\ = W_R \cdot 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Зв.}$$

Оценивая дозы в медицинской практике, можно считать, что при взвешивающих коэффициентах, равных единице, экспозиционная доза в 1 рентген соответствует поглощенной дозе в 1 рад и эквивалентной дозе в 1 бэр. Для рентгеновского, гамма-, бета-излучений  $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Зв.}$

Оценивая воздействие дозы на живые системы, необходимо понимать, что зиверт является большой дозой излучения для биологической ткани, равной 100 рентген (взвешивающий коэффициент равен единице), поэтому на практике применяют меньшие единицы – миллионные и тысячные зиверта.

За единицу активности радионуклидов в системе СИ принята величина 1 беккерель – один распад в секунду (Бк). Внесистемная единица активности 1 кюри (Ки);  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$

Для оценки воздействия излучения на население используют коллективную эквивалентную дозу, равную произведению эквивалентной дозы на число человек, подвергшихся радиации:

$$\text{КЭД} = \text{ЭД} \cdot \bar{n},$$

где КЭД – коллективная эквивалентная доза, чел·Зв; ЭД – эквивалентная доза, Зв;  $\bar{n}$  – число человек, подвергшихся радиации.

Развитие биосферы происходит на фоне ионизирующей радиации естественного радиационного фона. Радиационный фон состоит из космического излучения и радиации от природных радионуклидов. Основной вклад в естественный радиационный фон вносят следующие радиоактивные изотопы:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , а также продукты распада урана и тория. Суммарная доза фонового излучения составляет около  $1 \text{ мЗв/год}$ . В районах с высоким содержанием радионуклидов средняя доза излучения может достигать  $10 \text{ мЗв/год}$ . Считают, что радиационный фон влияет на информационные потоки в биосфере, обуславливая часть наследственных изменений и мутаций живых организмов.

Ионизирующие излучения воздействуют на биосферу комплексно. Начальные процессы – ионизация, возбуждение атомов и молекул с образованием активных радикалов, вступающих в реакции с основным структурным элементом биосферы – клеткой.

Физико-химические процессы на начальных этапах превращений вещества под действием радиации называют пусковыми.

Животный и растительный мир биосферы обладает различной восприимчивостью к радиации. Наиболее чувствительны к излучению высшие биологические организмы – человек, млекопитающие животные. Одноклеточные растения, животные, бактерии могут выдерживать сравнительно большие дозы радиоактивного излучения.

Поражение высших живых организмов, прежде всего человека, зависит от величины дозы облучения, ее пространственного распределения по организму, времени излучения и временного интервала от момента получения дозы (см. табл. 4.12).

Для сравнения с табл. 4.13 отметим, что наследственные заболевания в естественных условиях, характерные для 1980–1990 гг., составляют 6–10%, а заболевание раком колеблется от 0,2 до 0,25% от всего населения.

Таблица 4.13

**Вероятность возникновения заболевания от воздействия радиоактивного излучения на организм человека при эквивалентной дозе 1 Зв (пороговая доза)**

Заболевание	Вероятность возникновения заболевания, %
Лейкемия	0,2–0,4
Рак щитовидной железы	0,05–0,08
Рак молочной железы	0,3–0,5
Опухоли легких	0,2–0,3
Наследственные дефекты	0,5–0,6
<i>Итого</i>	1,25–1,88

Воздействие острого излучения, полученного за короткий промежуток времени от нескольких минут до нескольких часов, охарактеризовано в табл.4.14.

Таблица 4.14

**Воздействие на организм человека различных доз облучения при кратковременном облучении**

Эквивалентная доза облучения, Зв	Воздействие на организм человека
0,1–0,25	Нет заметных изменений в начальный период



0,25–0,5	времени, 1–2 года Снижается сопротивляемость организма к заболеваниям
0,5–1,0	Нарушается иммунная система, обмен веществ, снижается число лейкоцитов, тромбоцитов
1–2	Лучевая болезнь легкой степени
2–4	Лучевая болезнь средней тяжести
4–10	Лучевая болезнь тяжелой степени
10–100	Кишечная форма острой лучевой болезни
>100	Токсичная форма острой лучевой болезни

Широкое использование расщепляющихся ядерных материалов привело к глобальному облучению населения. Основные источники облучения: урановые рудники, радиохимические заводы по переработке ядерного топлива, хранилища и места утилизации радиоактивных материалов.

Наибольшую опасность представляют долгоживущие радионуклиды цезия и стронция ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ). Хроническое облучение вызывает снижение сопротивляемости организма при получении дозы

0,1 Зв/год, а доза порядка 0,5 Зв приводит к развитию хронической лучевой болезни. Интенсивное развитие ядерной энергетики привело к повышению радиационного фона в отдельных частях биосферы. Так, вентиляционные выбросы из урановых шахт содержат радиоактивный радон ( $^{222}\text{Rn}$ ), а радионуклиды водорода, углерода, йода ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{129}\text{I}$ ) вступают в естественные циклы обмена веществ, вызывая необратимые изменения в жизнедеятельности живых организмов.

Все радионуклиды подразделяют на четыре группы:

- группа А – особо токсичные (активность  $3,7 \cdot 10^6$  Бк);
- группа Б – высоко токсичные (активность  $3,7 \cdot 10^5$  Бк);
- группа В – средне токсичные (активность  $3,7 \cdot 10^4$  Бк);
- группа Г – малотоксичные (активность  $3,7 \cdot 10^3$  Бк).

Для каждого радионуклида установлены предельно допустимые газовые поступления (ПДП) через органы дыхания и предел годового поступления в организм (ПГП) (табл.4.15).

*Таблица 4.15*

**Пределы годового поступления радионуклидов в организм человека для некоторых веществ**

Вещество	Группа опасности	ПГП,
----------	------------------	------

		Бк/год
Водород	Г	$5,6 \cdot 10^{12}$
Калий	В	$1,9 \cdot 10^6$
Цезий	Г	$9,6 \cdot 10^7$
Йод	Г	$3,5 \cdot 10^7$
Уран	А	$5,2 \cdot 10^2$
Уран	Б	$5,2 \cdot 10^3$
Радон	Г	$3,6 \cdot 10^8$

Накопление, перенос радионуклидов в биосфере является предметом специального изучения. При выбросах радионуклидов различными источниками происходит первичное заражение местности. Распределение концентраций можно рассчитать по обычным формулам для распределения токсичных веществ в приземном слое воздуха, но ожидаемая концентрация радионуклида может существенно отличаться от расчетной. Об этом свидетельствует авария на Чернобыльской АЭС. В результате выброса на земле образовались очаги повышенного уровня загрязнения, причем рассеивание приняло глобальный характер. Отметим, что при расчетах концентрация токсичного радионуклида должна увеличиваться на некотором расстоянии  $X_m$ , и достигать максимального значения с постепенным снижением до фоновой концентрации на больших расстояниях.

Поражение организма под воздействием радионуклидов носит разнообразный характер. Радионуклиды первой группы равномерно распределяются по всему организму и вызывают повреждения органов, сходных с действием  $\gamma$ -излучения.

Радионуклиды второй группы (Ca, Sr, Ba) накапливаются в костной ткани, вызывая облучение костного мозга. Склонность элементов третьей группы к комплексообразованию приводит к их концентрации в крови с последующим перемещением в печень.

Факторы кинетики, обмена различного распределения в органах приводят к тому, что токсичность радионуклидов проявляется неодинаково при равных концентрациях. Следовательно, радионуклиды с одинаковой активностью, но с различными физико-химическими свойствами имеют различные пределы поступления в биосферу и отдельные организмы.

Основные методы защиты биосферы от радионуклидов:

- разработка безопасных ядерных технологий с минимальными выбросами и сбросами радиоактивных веществ;
- внедрение современных методов защиты, очистки воздуха, воды, почвы от радиоактивных отходов;
- длительные комплексные санитарно-гигиенические мероприятия по наблюдению за радиационным фоном, выявлением очагов радиоактивного заражения, ограничение облучения населения, животных, растений;
- разработка научно обоснованных уровней поступления радионуклидов в организм человека, уровней облучения и заражения местности для принятия экстренных мер по защите людей, животных, растений.

#### **4.7. Расчет ожидаемой активности излучения при выбросах радионуклидов**

Экспериментально установлено, что формальная кинетика радиоактивного распада элементов подчиняется закономерностям необратимой реакции первого порядка. Закономерность радиоактивного распада, несмотря на сложнейшие внутриядерные процессы, соблюдается достаточно точно для всех элементов.

Структура электронных оболочек, состав атомов, тип кристаллической решетки, фазовое состояние вещества, температура не влияют или влияют на распад элементов настолько незначительно, что этими параметрами пренебрегают.

Очевидно, радиоактивный распад веществ будет зависеть от таких параметров системы, которые по энергии взаимодействия сравнимы с энергией взаимодействия нуклонов в ядре.

Процесс распада вещества можно представить в виде такой схемы:



Дифференциальное уравнение для скорости распада вещества получим, используя основной постулат химической кинетики: скорость пропорциональна концентрациям реагирующих веществ в степени стехиометрических коэффициентов реакции:

$$-\frac{d(m_0 - x)}{dt} = k(m_0 - x);$$

$$-\frac{dm}{dt} = km, \quad (m = m_0 - x),$$

где  $m_0$  – количество вещества в начальный момент времени, кмоль/кг;  
 $x$  – количество вещества в произвольный момент времени  $t$ , кмоль/кг.

Интегрируя, находим выражение для скорости реакции:

$$k = \frac{1}{t} = \ln \frac{m_0}{m}; \quad k = \frac{1}{t} = \ln \frac{m_0}{m_0 - x}, \quad [k] = \text{с}^{-1}.$$

Из уравнения для константы скорости определяем количество вещества, не прореагировавшего и прореагировавшего к моменту времени  $t$ :

$$(m_0 - x) = m_0 \exp(-kt), \quad x = m_0(1 - \exp(-kt)).$$

Время, за которое распадается половина вещества, называют временем полураспада (период полураспада), и оно связано с константой скорости реакции:

$$T_{1/2} = \ln \frac{2}{k},$$

где  $T_{1/2}$  – время полураспада,  $\text{с}^{-1}$ .

Приведенные уравнения являются основными для расчетов активности радионуклидов. Так, из дифференциального уравнения для скорости распада рассчитаем активность радионуклида:

$$\bar{A} = \frac{m}{M_0} \cdot \frac{N_A \cdot \ln 2}{T_{1/2}},$$

где  $m$  – масса радионуклида, кг;  $M_0$  – молярная или атомная масса радионуклида;  $N_A$  – число Авогадро, равное  $6,022 \cdot 10^{26}$  кмоль $^{-1}$ ;  $A$  – активность, Бк.

В расчетах используют удельную активность радионуклида, отнесенную к единице массы или единице объема вещества:

$$\overline{A}_m = \frac{m}{M_0} \cdot \frac{N_A \cdot \ln 2}{T_{1/2} \cdot m_1}, \quad \overline{A}_v = \frac{m}{M_0} \cdot \frac{N_A \cdot \ln 2}{T_{1/2} \cdot V},$$

где  $A_m, A_v$  – активности изотопов, Бк/кг, Бк/м $^3$ ;  $m_1$  – масса вещества, в котором распадаются изотопы;  $V$  – объем вещества, в котором происходит распад, м $^3$ .

Время полураспада не зависит от количества исходного вещества, так как превращение ядер одних элементов в другие происходит независимо друг от друга.

Величина, обратная константе скорости распада, характеризует среднее время жизни отдельного ядра:

$$\bar{t} = \frac{1}{m} \cdot \int_0^{\infty} t \cdot dm, \quad \bar{t} = 1/k,$$

где  $\bar{t}$  – среднее время жизни ядра радионуклида, с.

Прогнозирование активности радионуклидов зависит от многих факторов и является предметом более сложных расчетов, чем прогноз ожидаемой концентрации загрязняющих веществ. Связано это с тем, что кроме распределения вещества в приземном слое или воде, почве, активность нестабильных веществ меняется с течением времени. Кроме того, нестабильные изотопы могут испытывать несколько распадов, образуя изотопы элементов различной активности.

*Пример 1.* Определить активность изотопа цезия Cs $^{130}$  при выбросе 0,2 кг вещества. Период полураспада 29,9 мин. Найти активность через 20 ч после выброса.

*Решение.* Активность изотопа цезия определяют по формуле

$$\overline{A}_m = \frac{m}{M_0} \cdot \frac{N_A \cdot \ln 2}{T_{1/2}}; \quad \overline{A}_m = \frac{0,2}{137} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{26} \cdot \ln 2}{29,9 \cdot 60} = 3,4 \cdot 10^{20} \text{ Бк.}$$

Через 20 ч масса изотопа цезия будет

$$m = m_0 \exp(-kt); \quad m = m_0 \cdot \exp\left(-\frac{(\ln 2)t}{T_{1/2}}\right);$$

$$m = 0,2 \cdot \exp(-kt); \quad m = 0,2 \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2 \cdot 20 \cdot 3600}{29,9 \cdot 60}\right) = 1,66 \cdot 10^{-13} \text{ кг.}$$

Активность равна

$$\bar{A}_m = \frac{1,66 \cdot 10^{-13}}{137} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{26} \cdot \ln 2}{29,9 \cdot 60} = 2,82 \cdot 10^8 \text{ Бк.}$$

В последовательных ядерных реакциях необходимо учитывать активность всех изотопов, образующихся в процессе распада.

Рассмотрим формальную кинетику последовательных ядерных реакций следующего типа: радиоактивное вещество  $B$  превращается в радиоактивное вещество  $C$ , а далее идет распад вещества  $C$  с образованием устойчивого изотопа. Такая схема распада происходит при превращении изотопа калия в стабильный изотоп скандия:



Рассуждаем следующим образом. Пусть в начальный момент распаду подвергается  $n$  ядер вещества  $B$ , а к моменту времени  $t$  осталось  $(n - x)$  ядер вещества  $B$  и появилось  $(x - y)$  ядер элемента  $C$  и  $y$  ядер вещества  $D$ .

Система уравнений для данного процесса также основана на основном постулате химической кинетики и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = k_1 (n - x), \\ \frac{d(x - y)}{dt} = k_1 (n - x) - k_2 (x - y). \end{cases}$$

Уравнения отображают соответственно скорость расходования веществ  $B$ ,  $C$  и скорость накопления вещества  $D$ .

Решение системы уравнений записывают следующим образом:

$$\begin{aligned}
 (x - y) &= n \frac{k_1}{k_2 - k_1} (\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)), \\
 y &= n \left( 1 - \frac{k_2}{k_2 - k_1} \exp(-k_1 t) + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \exp(-k_2 t) \right), \\
 (n - x) &= n \cdot \exp(-k_1 t).
 \end{aligned}$$

Время, при котором содержание изотопа максимально, находят из уравнения  $d(x - y)/dt = 0$ . Для этого условия

$$t_{\max} = \frac{\ln r}{(r - 1)k_1},$$

где  $r$  – отношение констант скоростей,  $r = k_2/k_1$ .

Максимальное содержание вещества  $C$  в точке  $t_{\max}$  равно:

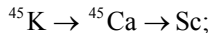
$$C_{\max} = \frac{n}{(1 - r) \left[ \exp(-r \ln r / (r - 1)) - \exp(-\ln r / (r - 1)) \right]}.$$

Наибольшее содержание промежуточного изотопа  $C$  зависит не от абсолютных величин констант скоростей распада ядерных реакций, а от параметра  $r$ , равного их отношению. Чем больше параметр  $r$ , тем выше максимум кривой  $C$  и тем ближе максимум к началу реакции.

Накопление конечного продукта  $D$  во времени имеет точку перегиба при  $t_{\max}$ . При  $k_1 \ll k_2$  распад протекает как реакция первого порядка, за исключением начального периода времени, когда сказывается накопление и распад вещества  $C$ .

*Пример 2.* Рассчитать активность изотопов при выбросе 1 кг калия  $^{45}\text{K}$  через год после выброса. Периоды полураспада изотопов калия и кальция составляют соответственно 20 мин и 163 сут.

*Решение.* Запишем формальную схему и найдем константы скоростей радиоактивного распада  $k_1$  и  $k_2$ :



$$k_1 = \ln 2 / 20 \cdot 60 = 5,78 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1};$$

$$k_2 = \ln 2 / 163 \cdot 24 \cdot 3600 = 4,92 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}.$$

Определяем количество изотопов калия и кальция через один год после выбросов, учитывая, что  $k_1 \gg k_2$ :

$$(n - x) = 1 \cdot \exp(-5,78 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600) = 10^{-7916} \text{ кг} = 0,$$

т.е. через год все ядра изотопа калия распались, следовательно:

$$(n - y) = 1 \cdot \exp(-4,92 \cdot 10^{-8} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,21 \text{ кг} = 0.$$

Активность изотопа кальция:

$$A = \frac{0,21 \cdot 6,022 \cdot 10^{26} \ln 2}{45 \cdot 163 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,38 \cdot 10^{17} \text{ Бк}.$$

Необходимо обратить внимание на тот факт, что без учета последовательной ядерной реакции расчет дает принципиально неправильный результат – отсутствие радиоактивности через год после выброса. В действительности даже через год радиация может достигать больших величин, а активность продукта последовательного превращения – изотопа кальция равна  $1,38 \cdot 10^{17}$  Бк.

Рассматривая радиационно-гигиенические проблемы защиты биосферы от радионуклидов, выделим следующие нормативы содержания радионуклидов в организме человека и окружающей среде:

– ДС – допустимое содержание радионуклида в органе человеческого тела – это максимальное содержание радионуклида в органе, не вызывающее заболеваний, мг/кг, кмоль/кг;

– ПДП – предельно допустимое поступление радионуклида в организм через органы дыхания, мг/год, Бк/год;

– ПГП – предел годового поступления радионуклида в организм (дыхание, пищеварение), мг/год, Бк/год;

– ПДК<sub>нм</sub> – предельно допустимая концентрация радионуклида в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>, Бк/м<sup>3</sup>;



– ПДК<sub>рз</sub> – предельно допустимая концентрация радионуклида в воздухе рабочей зоны при 40-часовой рабочей неделе, мг/м<sup>3</sup>, Бк/м<sup>3</sup>.

Числовые значения допустимых уровней приведены в специальных справочниках по защите биосферы от радиоактивного излучения. Использование нормативов позволяет рассчитать предельно допустимый выброс радионуклида в технологических производствах и оценивать уровень радиоактивного загрязнения природы.

Расчетные формулы для оценки предельно допустимых выбросов и предельно допустимых сбросов радионуклидов:

$$\text{ПДВ}^{\text{P}} = \frac{(\text{ПДК}^{\text{P}} - C_{\Phi}) \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}, \quad f < 100;$$

$$\text{ПДВ}^{\text{P}} = \frac{(\text{ПДК}^{\text{P}} - C_{\Phi}) \sqrt[3]{V_1 \Delta T} \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8V_1}{\Phi}, \quad \Delta T = 0;$$

$$\text{ПДС}^{\text{P}} = (\text{ПДК}^{\text{P}} - C_{\Phi})n + C_{\Phi}, \quad \text{ПДС}^{\text{P}} = n \cdot \text{ПДК}^{\text{P}} + C_{\Phi}(1 - n).$$

*Пример 3.* Определить предельно допустимый сброс изотопа цезия <sup>131</sup>Cs в реку. Период полураспада изотопа 9,69 сут. Расход стока равен 1 м<sup>3</sup>/с, разбавление воды в реке – 20. Фоновая концентрация цезия равна нулю. Предельно допустимая концентрация цезия в воде составляет 3,4·10<sup>4</sup> Бк.

*Решение.* Предельно допустимый сброс радионуклида

$$\text{ПДС}^{\text{P}} = \text{ПДК}^{\text{P}} \cdot q \cdot n, \quad \text{ПДС}^{\text{P}} = 3,4 \cdot 10^4 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 1 = 6,8 \cdot 10^8 \text{ Бк};$$

$$m = \frac{\bar{A}}{N_A} \cdot \frac{M_0 \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{6,8 \cdot 10^8 \cdot 131 \cdot 9,69 \cdot 24 \cdot 3600}{6,022 \cdot 10^{26} \cdot \ln 2} = 1,79 \cdot 10^{-10} \text{ кг/с},$$

$$m = \text{ПДС}^{\text{P}} = 1,79 \cdot 10^{-10} \text{ кг/с}.$$

Процедура расчета ожидаемой радиоактивности и использование программ УПРЗА состоит из определения концентрации загрязняющего изотопа в приземном слое воздуха, оценке активности найденной концентрации изотопа с учетом времени

и сопоставления величин с допустимыми уровнями предельных загрязнений.

#### **4.8. Оценка уровней шума и его воздействие на биосферу**

Шумом называют бессистемное сочетание звуков различной интенсивности и частоты, оказывающих вредное действие на организм человека. Отметим, что длительная абсолютная тишина так же вредна для психики человека, как и непрерывный повышенный шум.

Каждый человек воспринимает шум субъективно. Восприятие зависит от многих факторов: возраста, состояния здоровья, характера трудовой деятельности, настроения. Установлено, что большее влияние шум оказывает на людей, занятых умственным трудом, чем физическим. Шум непонятного происхождения, возникающий в ночное время суток, беспокоит человека особенно сильно. Шум, создаваемый самим человеком, беспокоит его значительно меньше, чем окружающих. Многочисленными исследованиями доказано, что шум снижает производительность труда на промышленных предприятиях на 30%, повышает опасность травматизма, приводит к развитию заболеваний.

В структуре профессиональных заболеваний в России около 17% приходится на заболевания органа слуха, поэтому борьба с шумом на промышленных предприятиях является одной из важнейших проблем современности.

По физической природе шумом является всякий нежелательный для человека звук. Звук обуславливается механическими колебаниями в упругих средах и телах (твердых, жидких и газообразных), частоты которых лежат в диапазоне от 17–20 до 20 000 Гц. Соответственно этому механические колебания с указанными частотами называют звуковыми или акустическими.

Неслышимые человеком механические колебания с частотами ниже звукового диапазона называют инфразвуковыми, а с частотами выше звукового диапазона – ультразвуковыми.

При распространении волны частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия. Вместе с волной от частицы к частице среды передаются лишь состояние

колебательного движения и его энергия. Поэтому основным свойством волн является перенос энергии без переноса вещества. Это характерно для всех волн независимо от их природы, в том числе и для звуковых. Звуковые волны возникают при нарушении стационарного состояния среды вследствие воздействия на нее какой-либо возмущающей силы.

Шум, как любой звук, характеризуется частотой  $f$ , интенсивностью  $I$  и звуковым давлением  $p$ . Чем выше частота колебания, тем выше тональность шума. Чем больше интенсивность и звуковое давление, тем громче шум.

Во время распространения звуковых колебаний в воздухе появляются области разрежения и области повышенного давления, которые и определяют величину звукового давления  $p$ . Звуковым давлением называется разность между мгновенным значением давления при распространении звуковой волны и средним значением давления в невозмущенной среде. Звуковое давление изменяется с частотой, равной частоте звуковой волны.

На слух человека действует среднеквадратичное значение звукового давления:

$$p^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt.$$

Осреднение во времени происходит в органе слуха человека за время 30–100 мс.

Единица измерения звукового давления – Па (Н/м<sup>2</sup>).

При распространении звуковой волны происходит перенос кинетической энергии, величина которой определяется интенсивностью звука. Интенсивность звука определяется средней по времени энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени сквозь единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны:

$$I = \frac{W}{S \cdot T}.$$

Единица измерения интенсивности звука – Вт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность звука и звуковое давление связаны соотношением

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c},$$

где  $p$  – звуковое давление, Па;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость распространения звука в данной среде, м/с;  $\rho \cdot c$  – удельное акустическое сопротивление среды, Па·с/м.

Для воздуха  $\rho \cdot c = 410$  Па·с/м, для воды –  $1,5 \cdot 10^6$  Па·с/м, для стали –  $4,8 \cdot 10^7$  Па·с/м.

Величины звукового давления и интенсивности, с которыми приходится иметь дело в практике борьбы с шумом, изменяются в очень широких пределах: по давлению до  $10^8$  раз, по интенсивности – до  $10^{16}$  раз. Оперировать такими цифрами неудобно.

Кроме того, установлено, что согласно биологическому закону Вебера-Фехнера, выражающего связь между изменением интенсивности раздражителя и силой вызванного ощущения, реакция организма прямо пропорциональна относительному приращению раздражителя.

Для удобства введены логарифмические величины – уровни звукового давления и интенсивности:

$$L = \lg I/I_0,$$

где  $I_0$  – интенсивность звука на пороге слышимости, принимаемая для всех звуков равной  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Величина  $L$  называется уровнем интенсивности звука и выражается в беллах (Б) в честь изобретателя телефона ученого Александра Белла. Ухо человека реагирует на величину в десять раз меньшую, чем бел, поэтому распространение получила единица децибел (дБ), равная 0,1 Б.

Так как интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления, то уровень звукового давления определится по формуле

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0},$$

где  $P_0$  – пороговое звуковое давление, едва различимое ухом человека, на частоте 1000 Гц составляет  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Уровнями интенсивности обычно пользуются при выполнении акустических расчетов, а уровнями звукового давления – при измерении шума и оценке его воздействия на организм человека.

Использование логарифмической шкалы для измерения уровня шума позволяет получить сравнительно небольшой интервал логарифмических величин от 0 до 140 дБ. Уровни звукового давления некоторых источников шума имеют следующие значения:

- 10 дБ – шелест листвы деревьев, шепот;
- 30 дБ – тихий разговор;
- 50 дБ – громкий разговор;
- 80 дБ – шум работающего двигателя грузовика;
- 100 дБ – двигатель самолета, автомобильная сирена;
- 140 дБ – реактивный двигатель, аварийный нефтяной или газовый фонтан, порог болевого ощущения, выше которого давление звука приводит к разрыву барабанной перепонки.

Реальный звук является наложением гармонических колебаний (колебаний, совершаемых по закону косинуса или синуса) с большим набором частот, т.е. звук обладает акустическим спектром. Спектр – распределение уровней шума по частотам.

При измерении и анализе шумов весь диапазон частот разбивают на октавы – интервалы частот, где конечная частота больше начальной в 2 раза:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2,$$

и третьоктавные полосы частот, определяемые соотношением

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}.$$

В качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота:

$$- \text{для октавного диапазона} - f_{\text{cp}} = \sqrt{f_1 f_2};$$

$$- \text{для третьоктавного} - f_{\text{cp}} = \sqrt[3]{2} f_1.$$

Область слышимых звуков ограничивается не только определенными частотами, но и предельными значениями звуковых давлений и их уровней. Так, для того чтобы вызвать звуковое ощущение, волна должна обладать некоторым минимальным звуковым давлением, но если это давление превышает определенный предел, то звук не слышен и вызывает только болевое ощущение. Таким образом, для каждой частоты колебаний существует наименьшее (порог слышимости) и наибольшее (порог болевого ощущения) звуковое давление, которое способно вызвать звуковое восприятие. Так, болевым порогом принято считать звук с уровнем 140 дБ, что соответствует звуковому давлению 200 Па.

Шум является общебиологическим раздражителем, способным влиять на все органы и системы организма, вызывая разнообразные физиологические изменения.

Шумовые патологии подразделяются на специфические, наступающие в звуковом анализаторе, и неспецифические, возникающие в других органах и системах.

Поражение органа слуха определяется главным образом интенсивностью шума. Изменения в центральной нервной системе наступают значительно раньше, чем нарушения в звуковом анализаторе.

Шум с уровнем звукового давления до 30–35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40–70 дБ создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия, и при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 80 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонок, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБ) и смерть.

Интенсивный шум при ежедневном воздействии медленно влияет на незащищенный орган слуха и приводит к развитию тугоухости. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, на 20

дБ – начинает серьезно мешать человеку, так как нарушается способность слышать важные звуковые сигналы, наступает ослабление разборчивости речи.

Снижение слуха восстанавливается в редких случаях при непродолжительном воздействии шума, если оно является результатом незначительных сосудистых изменений. При длительном акустическом воздействии или при острой акустической травме происходят необратимые нарушения в слуховом анализаторе. В некоторых случаях решить проблему потери слуха помогает слуховой аппарат, но он не в состоянии восстановить естественную остроту слуха в той же степени, как, например, очки возвращают остроту зрения.

При воздействии шума наблюдаются также отклонения в состоянии вестибулярной функции, общие неспецифические изменения в организме: головные боли, головокружение, боли в области сердца, повышение артериального давления, боли в области желудка. Шум вызывает снижение функции защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям.

Кроме интенсивности шума, особенности воздействия шума на организм человека определяют характер спектра. Более неблагоприятное влияние оказывают высокие частоты (свыше 1000 Гц) по сравнению с низкими (31,5–125 Гц). К биологически агрессивному шуму относится импульсный и тональный шум. Относительно благоприятным является также постоянный шум по сравнению с непостоянным из-за непрерывно меняющегося уровня звукового давления во времени.

Степень шумовой патологии зависит в некоторой степени от индивидуальной чувствительности организма к акустическому раздражителю. Считают, что повышенная чувствительность к шуму присуща 11% людей. Женский и детский организм особенно чувствительны к шуму. Высокая индивидуальная чувствительность может быть одной из причин повышенной утомляемости и развития неврозов.

Длительное воздействие интенсивного шума на человека приводит к развитию шумовой болезни, являющейся самостоятельной формой профессиональной патологии.

Шумовая болезнь – это общее заболевание организма с преимущественным поражением органа слуха, центральной нервной и

сердечно-сосудистой систем, развивающееся в результате длительного воздействия интенсивного шума. Формирование патологического процесса при шумовом воздействии происходит постепенно и начинается с неспецифических проявлений вегетативно-сосудистой дисфункции. Далее развиваются сдвиги со стороны центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, затем – специфические изменения в слуховом анализаторе.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003–88 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», шумы классифицируются по характеру спектра и временным характеристикам.

По характеру спектра шумы подразделяются на широкополосные и тональные.

По временным характеристикам шумы подразделяются на постоянные и непостоянные.

Предупреждение неблагоприятного воздействия шума на организм человека основано на гигиеническом нормировании шума, целью которого является обоснование допустимых уровней, обеспечивающих предупреждение функциональных расстройств и заболеваний. В качестве критерия нормирования используются предельно допустимые уровни (ПДУ) шума.

Предельно допустимый уровень шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Нормирование шума производится по комплексу показателей с учетом их гигиенической значимости на основании Санитарных норм 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Для постоянного шума нормируемой характеристикой являются уровни звукового давления в децибелах в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Допускается также в качестве регламентируемой величины постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать



уровень звука в децибел А (дБА), измеренный по временной характеристике шумомера «медленно».

Нормируемой характеристикой непостоянного шума является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука  $L_{A_{\text{экв}}}$  (в дБА) непостоянного шума – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет то же самое среднее квадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

$L_{A_{\text{экв}}}$  определяется по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A(t)}{\rho_0} \right)^2 dt,$$

где  $p_A(t)$  – текущее значение среднего квадратичного звукового давления, Па;  $T$  – время действия шума, ч, или

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot 10^{0,1L_i} \right),$$

где  $T$  – период наблюдения, ч;  $\tau_i$  – время воздействия шума с уровнем  $L_i$ , ч;  $L_i$  – уровень звука в  $i$  промежутке времени, дБА;  $n$  – общее число промежутков времени действия шума.

Таблица 4.16

**Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности, дБА**

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1-й степени	Тяжелый труд 2-й степени	Тяжелый труд 3-й степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65

Напряженный труд 1-й степени	60	60	–	–	–
Напряженный труд 2-й степени	50	50	–	–	–

*Примечания:* 1. Для тонального и импульсного шума ПДУ на 5 дБА меньше значений, указанных в табл. 4.15. 2. Для шума, создаваемого в помещениях с установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления – на 5 дБА меньше фактических уровней шума в помещениях, если последние не превышают значений в табл. 4.15 (поправка для тонального и импульсного шума при этом не учитывается), в противном случае на 5 дБА меньше значений, указанных в табл. 4.15. 3. Дополнительно для колеблющегося во времени и прерывистого шума максимальный уровень звука не должен превышать 110 дБА, а для импульсного шума – 125 дБА. 4. Сочетания напряженного и очень напряженного с тяжелым и очень тяжелым физическим трудом не нормируются исходя из необходимости их ликвидации как недопустимых.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах устанавливаются с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности, определяемых в соответствии с руководством ГН 2.2.755–99 Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Их значения на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности приведены в табл. 4.16. Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот для постоянных шумов, соответствующие указанным в табл. 4.16 уровням звука в дБА, приведены в табл. 4.17.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для некоторых наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом тяжести и напряженности труда, приведены в табл. 4.18.

Таблица 4.17

**ПДУ звукового давления в октавных полосах частот  
и уровни звука в дБА**

Уровень звука, дБА	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

50	86	71	61	54	49	45	42	40	38
55	89	75	66	59	54	50	47	45	44
60	93	79	70	63	58	55	52	50	49
65	96	83	74	68	63	60	57	55	54
70	100	87	79	72	68	65	63	61	59
75	103	91	83	77	73	70	68	66	64
80	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Таблица 4.18

**Предельно допустимые уровни звукового давления,  
уровни звука и эквивалентные уровни звука  
для основных наиболее типичных видов трудовой  
деятельности и рабочих мест  
по СН 2.2.4/2.1.8.562–96 (извлечение)**

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место (примеры)	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, научная деятельность, программирование, преподавание и обучение	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

4	Работа, требующая сосредоточенности, в помещениях лаборатории с шумным оборудованием	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Измерение шума в производственных помещениях и на территории предприятий на рабочих местах (или в рабочих зонах) осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.050–86 (2001) «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах».

Оценка шума для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах допустимым уровням проводится при работе не менее 2/3 установленных в данном помещении единиц технологического оборудования в наиболее часто реализуемом режиме его работы. Измерения проводятся в точках, соответствующих установленным постоянным местам; на непостоянных рабочих местах – в точках наиболее частого пребывания работающего.

Для измерения уровня звука на рабочих местах используются шу-момеры, состоящие из измерительного микрофона, усилителя, электрической цепи с корректирующими фильтрами, измерительного прибора (детектора) с определенными временными характеристиками (медленно, быстро, импульс).

В шумомерах звуковые колебания воспринимаются с помощью микрофона, назначение которого заключается в преобразовании переменного звукового давления в соответствующее ему переменное электрическое напряжение.

Наиболее широкое применение для измерения уровней шума в производственных условиях нашли микрофоны конденсаторного типа, имеющие малые размеры, хорошую линейность частотной характеристики.

Шумомеры должны иметь корректирующие фильтры для частотной характеристики *A* и дополнительно – для частотных характеристик *B*, *C*, *D* и Лин или некоторых из них. Частотная характеристика шумомера *A*, *B*, *C*, *D* и Лин – это зависимость показаний шумомера от частоты при постоянном уровне звукового давления синусоидального сигнала на входе микрофона шумомера, приведенная к частоте 1000 Гц.

Частотные характеристики шумомера *A*, *B*, *C* соответствуют кривым равной громкости, т.е. характеристикам чувствительности человеческого уха, вследствие чего показания шумомера отвечают субъективному восприятию уровня громкости шумов. Частотная характеристика *A* соответствует кривой малой громкости ( $\sim 40$  фон), *B* – средней громкости ( $\sim 70$  фон), *C* – большой громкости ( $\sim 100$  фон). При гигиенической оценке шумов достаточно частотной характеристики *A*.

Фон – единица уровня громкости звука. Громкость для звука в 1000 Гц (частота стандартного чистого тона) равна 1 фон, если его уровень звукового давления равен 1 дБ.

Основные характеристики некоторых широко используемых в настоящее время приборов для измерения уровней шума на производстве приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.19

### Приборы, используемые для измерения шума

Название, тип шумомера	Изменяемые параметры	Корректирующие фильтры	Временные константы	Диапазон измерений, дБА	Частотный диапазон, Гц
Шумомер SVAN 943 (цифровой)	Уровень звукового давления, эквивалентный уровень звука	<i>A</i> , <i>C</i> , Лин	Медленно Быстро Импульс	29–133	20–11000
ВШВ-003-М2 (аналоговый)	Уровень звукового давления, уровень звука с частотными характеристиками	<i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> , Лин	Медленно Быстро	20–130	2–20000

	<i>A, B, C</i>				
--	----------------	--	--	--	--

Выбор мероприятий по ограничению неблагоприятного действия шума на человека производится исходя из конкретных условий: величины превышения ПДУ, характера спектра, источника излучения. Средства защиты работников от шума подразделяются на средства коллективной и индивидуальной защиты.

К средствам коллективной защиты относятся: уменьшение шума в источнике; изменение направленности излучения шума; рациональная планировка предприятий и цехов; акустическая обработка помещений (звукопоглощающие облицовки, штучные поглотители); уменьшение шума на пути его распространения от источника к рабочему месту (звукоизоляцией, глушителями).

Наиболее эффективным методом борьбы с шумом является его снижение в источнике возникновения за счет применения рациональных конструкций, новых материалов и гигиенически благоприятных технологических процессов.

Уменьшение уровней генерируемых шумов в источнике его образования основано на устранении причин возникновения звуковых колебаний, которыми могут служить механические, аэродинамические, гидродинамические и электрические явления.

Разработка малошумного оборудования является весьма сложной технической задачей, меры по ослаблению шумов в источнике часто оказываются недостаточными, вследствие чего дополнительное, а иногда и основное снижение шума достигается путем применения других средств защиты, рассмотренных ниже.

Многие источники шума излучают звуковую энергию неравномерно по всем направлениям, т.е. обладают определенной направленностью излучения. Источники направленного действия характеризуются коэффициентом направленности, определяемым отношением:

$$\Phi = \frac{I}{I_n},$$

где  $I$  – интенсивность звуковой волны в данном направлении на некотором расстоянии  $r$  от источника направленного действия мощностью  $W$ , излучающего волновое поле в телесный угол  $\Omega$ ;

$I = \frac{W}{4\pi r^2}$  – интенсивность волны на том же расстоянии при замене

данного источника на источник ненаправленного действия той же мощности. Величина  $10 \lg \Phi$  называется показателем направленности.

В ряде случаев величина показателя направленности достигает 10–15 дБ, в связи с чем определенная ориентация установок с направленным излучением позволяет существенно снизить уровень шума на рабочем месте.

Рациональная планировка предприятий и цехов также является эффективным методом снижения шума, например, за счет увеличения расстояния от источника шума до объекта (шум снижается прямо пропорционально квадрату расстояния), расположения тихих помещений внутри здания вдали от шумных, расположения защищаемых объектов глухими стенами к источнику шума и др.

Акустическая обработка помещений заключается в установке в них средств звукопоглощения. Поглощение звука – это необратимый переход звуковой энергии в другие формы, главным образом в теплоту.

Средства звукопоглощения применяют для снижения шума на рабочих местах, находящихся как в помещениях с источниками шума, так и в тихих помещениях, куда проникает шум из соседних шумных помещений. Акустическая обработка помещений преследует цель снизить энергию отраженных звуковых волн, поскольку интенсивность звука в какой-либо точке помещения складывается из интенсивностей прямого звука и отраженного от пола, потолка и других ограждающих поверхностей. Для уменьшения отраженного звука применяют устройства, обладающие большими значениями коэффициента поглощения. Свойствами поглощения звука обладают все строительные материалы. Однако звукопоглощающими материалами и конструкциями называются только те, у которых коэффициент звукопоглощения на средних частотах больше 0,2. У таких материалов, как кирпич, бетон, величина коэффициента звукопоглощения равна 0,01–0,05. К средствам звукопоглощения относятся звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители.

В качестве звукопоглощающей облицовки наиболее часто применяют пористые и резонансные звукопоглотители.

Пористые звукопоглотители изготавливают из таких материалов, как ультратонкое стекловолокно, древесноволокнистые и минеральные плиты, пенопласт с открытыми порами, шерсть и др. Звукопоглощающие свойства пористого материала зависят от толщины слоя, частоты звука, наличия воздушного промежутка между слоем и стенкой, на которой он установлен.

Для увеличения поглощения на низких частотах и для экономии материала между пористым слоем и стенкой делают воздушную прослойку. Для предотвращения механических повреждений материала и высыпаний применяются ткани, сетки, пленки и перфорированные экраны, которые существенно влияют на характер поглощения звука.

Резонансные поглотители имеют воздушную полость, соединенную открытым отверстием с окружающей средой. Дополнительное снижение шума при использовании таких звукопоглощающих конструкций происходит за счет взаимного погашения падающих и отраженных волн.

Пористые и резонансные поглотители крепят к стенам или потолкам изолированных объемов. Звукопоглощение может производиться путем внесения в изолированные объемы штучных звукопоглотителей, представляющих собой объемные тела, заполненные звукопоглощающим материалом, изготовленные, например, в виде куба или конуса и прикрепляемые чаще всего к потолку производственных помещений.

В случаях, когда необходимо существенно снизить интенсивность прямого звука на рабочих местах, применяют средства звукоизоляции.

Звукоизоляция – уменьшение уровня шума с помощью защитного устройства, которое устанавливают между источником и приемником, она имеет большую отражающую или поглощающую способность. Звукоизоляция дает больший эффект (30–50 дБ), чем звукопоглощение (6–10 дБ).

К средствам звукоизоляции относятся звукоизолирующие ограждения, звукоизолирующие кабины и пульты управления, звукоизолирующие кожухи и акустические экраны.



Звукоизоляция ограждений тем выше, чем большей массой ( $1 \text{ м}^2$  ограждения) они обладают; так, увеличение массы в 2 раза приводит к повышению звукоизоляции на 6 дБ. Для одного и того же ограждения звукоизоляция возрастает с увеличением частоты, т.е. на высоких частотах эффект от установки ограждения будет значительно выше, чем на низких.

Для облегчения ограждающих конструкций без уменьшения их звукоизоляции применяются многослойные ограждения, чаще всего двойные, состоящие из двух однослойных ограждений, соединенных между собой упругими связями: воздушным слоем, звукопоглощающим материалом или ребрами жесткости, шпильками и другими конструктивными элементами.

Эффективным, простым и дешевым методом снижения шума на рабочих местах является применение звукоизолирующих кожухов.

Для получения максимальной эффективности кожухи должны полностью закрывать оборудование, механизм и т. д. Конструктивно кожухи выполняются съемными, раздвижными или капотного типа, сплошными герметичными или неоднородной конструкции – со смотровыми окнами, открывающимися дверцами, проемами для ввода коммуникаций и циркуляции воздуха.

Кожухи изготавливают обычно из листовых несгораемых или трудносгораемых материалов (сталь, дюралюминий). Внутренние поверхности стенок кожухов обязательно облицовывают звукопоглощающим материалом, а сам кожух изолирован от вибрации основания. Между кожухом и источником вибрации наносят слой вибродемпфирующего материала для уменьшения передачи вибрации от машины на кожух. Если защищаемое оборудование выделяет теплоту, то кожухи снабжают вентиляционными устройствами с глушителями.

Для защиты от непосредственного, прямого воздействия шума используют экраны и выгородки (соединенные отдельные секции – экраны). Акустический эффект экрана основан на образовании за ним области тени, куда звуковые волны проникают лишь частично. При низких частотах (менее 300 Гц) экраны малоэффективны, так как за счет дифракции звук их легко огибает. Важно также, чтобы расстояние от источника шума до приемника было как можно меньше. Наиболее часто применяются экраны плоской и П-образной формы. Изготавливают экраны из сплошных твердых листов (металлических и

т.п.) толщиной 1,5–2 мм с обязательной облицовкой звукопоглощающими материалами поверхности, обращенной к источнику шума, а в ряде случаев и с противоположной стороны.

Звукоизолирующие кабины применяют для размещения в них пультов дистанционного управления или рабочих мест в шумных помещениях. Используя звукоизолирующие кабины, можно обеспечить практически любое требуемое снижение шума. Обычно кабины изготовляют из кирпича, бетона и других подобных материалов, а также сборными из металлических панелей (стальных или из дюралюминия).

Для уменьшения шума различных аэрогазодинамических установок и устройств применяются глушители. Например, во время рабочего цикла ряда установок (компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, турбин и др.) через специальные отверстия происходит истечение отработавших газов в атмосферу и (или) всасывание воздуха из атмосферы, при этом генерируется сильный шум. В таких случаях для снижения шума используют глушители.

Конструктивно глушители состоят из активных и реактивных элементов.

Простейшим активным элементом является любой канал (труба), стенки которого покрыты внутри звукопоглощающим материалом. Трубопроводы, как правило, имеют повороты, которые снижают шум за счет поглощения и отражения осевых волн назад к источнику. Реактивный элемент представляет собой участок канала, на котором внезапно увеличивается площадь сечения, в результате чего происходит отражение звуковых волн обратно к источнику. Эффективность звукопоглощения растет с увеличением числа камер и длины соединяющей трубы.

При наличии в спектре шума дисперсных составляющих высокого уровня применяют реактивные элементы резонаторного типа: кольцевые и ответвления. Такие глушители настроены на частоты наиболее интенсивных составляющих путем соответствующего расчета размеров элементов глушителей (объема камер, длины ответвлений, площади отверстий и др.).

Если применение коллективных средств защиты не позволяет обеспечить требования нормативов, применяются средства индивидуальной защиты, к которым относятся вкладыши, наушники, шлемы.

Вкладыши – самое дешевое средство, но недостаточно эффективное (снижение шума составляет 5–20 дБ). Они вставляются в наружный слуховой проход и представляют собой различного рода заглушки из волокнистых материалов, воскообразных мастик или пластинчатых слепков, изготовленных по конфигурации слухового прохода.

Наушники представляют собой чашки из пластмассы или металла, заполненные звукопоглотителем. Для плотности прилегания чашки наушников снабжены специальными уплотняющими кольцами, заполненными воздухом или специальными жидкостями. Степень глушения звука наушниками на высоких частотах составляет 20–38 дБ.

Шлемы используются для защиты от очень сильных шумов (более 120 дБ), так как звуковые колебания воспринимаются не только ухом, но и через кости черепа.

#### **4.9. Влияние освещения на условия деятельности человека**

Освещение исключительно важно для здоровья человека. С помощью зрения человек получает подавляющую часть информации (около 90 %), поступающей из окружающего мира. Свет — это ключевой элемент нашей способности видеть, оценивать форму, цвет и перспективу окружающих нас предметов. Очень часто мы считаем это само собой разумеющимся. Однако мы не должны забывать, что такие элементы человеческого самочувствия, как душевное состояние или степень усталости, зависят от освещения и цвета окружающих нас предметов.

С точки зрения безопасности труда зрительная способность и зрительный комфорт чрезвычайно важны. Очень много несчастных случаев происходит, помимо всего прочего, из-за неудовлетворительного освещения или из-за ошибок, сделанных рабочим по причине трудности распознавания того или иного предмета или осознания степени риска, связанного с обслуживанием станков, транспортных средств, контейнеров и т. д. Свет создает нормальные условия для трудовой деятельности.

Нарушения зрения, связанные с недостатками системы освещения, являются обычным явлением на рабочем месте.

Благодаря способности зрения приспособливаться к недостаточному освещению, к этим моментам иногда не относятся с должной серьезностью.

Недостаточное освещение вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме создания зрительного комфорта, свет оказывает на человека психологическое, физиологическое и эстетическое воздействие. Свет – один из важнейших элементов организации пространства и главный посредник между человеком и окружающим его миром. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм.

Свойства света как фактора эмоционального воздействия широко используются путем правильной и рациональной организации освещения. Необходимая освещенность может быть достигнута за счет регулирования светового потока источника освещения, включения и выключения части ламп в осветительных приборах, изменения спектрального состава света, применения осветительных приборов подвижной конструкции, позволяющей изменять направление светового потока.

Существуют два источника света – Солнце и искусственные источники, созданные человеком. Основные искусственные источники света, применяемые ныне, – электрические источники, прежде всего лампы накаливания и газоразрядные лампы. Источник света излучает энергию в виде электромагнитных волн, имеющих различную длину волны. Человек воспринимает электромагнитные волны как свет только в диапазоне от 0,38 до 0,76 мкм.

Освещение и световая среда характеризуются следующими параметрами.

Световой поток ( $\Phi$ ) – часть электромагнитной энергии, которая излучается источником в видимом диапазоне. Поскольку световой поток – это не только физическая, но и физиологическая величина, так как характеризует зрительное восприятие, для него введена специальная единица измерения люмен (лм).

Сила света ( $I$ ) – так как источник света может излучать свет по

различным направлениям неравномерно, вводится понятие силы света как отношения величины светового потока, распространяющегося от источника света в некотором телесном угле (измеряется в стерadians), к величине этого телесного угла:

$$I = \Phi/W.$$

Сила света измеряется в канделах (кд).

Солнце и искусственные источники света – это первичные источники светового потока, т. е. источники, в которых генерируется электромагнитная энергия. Однако существуют вторичные источни-

ки – поверхности объектов, от которых свет отражается.

Коэффициентом отражения ( $r$ ) называется доля светового потока ( $\Phi_{\text{пад}}$ ), падающего на поверхность, которая отражается от нее:

$$r = \Phi_{\text{отр}}/\Phi_{\text{пад}}.$$

Величина же светового потока ( $\Phi_{\text{отр}}$ ), отраженного поверхностью предмета и распространяющегося в некотором телесном угле ( $W$ ), отнесенная к величине этого угла и площади ( $S$ ) отражающей поверхности, называется яркостью ( $L$ ) объекта. По сути, это сила света, излучаемая поверхностью, отнесенная к площади этой поверхности:

$$L = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{W \cdot S}; \quad L = \frac{I}{S}.$$

Измеряется яркость в кд/м<sup>2</sup>. Чем больше яркость объекта, тем больший световой поток от него поступает в глаз и тем сильнее сигнал, поступающий от глаза в зрительный центр. Таким образом, казалось бы, чем больше яркость, тем лучше человек видит объект. Однако это не совсем так. Если поверхность (фон), на которой располагается объект, имеет близкую по величине яркость, то интенсивность засветки участков сетчатки световым потоком,

поступающим от фона и объекта, одинакова (или слабо различается), величина поступающих в мозг сигналов одинакова, и объект на фоне становится неразличимым.

Для лучшей видимости объекта необходимо, чтобы яркости объекта и фона различались. Разница между яркостями объекта ( $L_0$ ) и фона ( $L_\phi$ ), отнесенная к яркости фона, называется контрастом:

$$K = \frac{|L_0 - L_\phi|}{L_\phi}.$$

Если объект резко выделяется на фоне (например, черная линия на белом листе) контраст считается большим, при среднем контрасте объект и фон заметно различаются по яркости, при малом контрасте объект слабо заметен на фоне (например, линия бледно-желтого цвета на белом листе). При  $K < 0,2$  контраст считается малым, при  $K = 0,2-0,5$  контраст средний, а при  $K > 0,5$  – большим.

Величина яркости объекта тем больше, чем больше коэффициент отражения и падающий на поверхность световой поток.

Для характеристики интенсивности падающего на поверхность от источника света светового потока введена специальная величина, получившая название освещенности.

Освещенность – это отношение падающего на поверхность светового потока ( $\Phi_{\text{пад}}$ ) к величине площади этой поверхности ( $S$ ):

$$E = \frac{\Phi_{\text{пад}}}{S}.$$

Измеряется освещенность в люксах (лк),  $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$ .

Таким образом, чем больше освещенность и контраст, тем лучше видно объект, а следовательно, меньше нагрузка на зрение. Следует обратить внимание на то, что слишком большая яркость отрицательно воздействует на зрение. Как правило, большая яркость связана не со слишком большой освещенностью, а с очень большими коэффициентами отражения (например, зеркальным отражением). При большой яркости имеет место очень интенсивная засветка сетчатки, и разлагающийся светочувствительный материал не успевает восстанавливаться (регенерироваться) – возникает явление

ослепленности. Такое явление, например, возникает, если смотреть на раскаленную вольфрамовую нить лампы накаливания, обладающей большой яркостью.

Одной из характеристик зрительной работы является фон – поверхность, на которой происходит различение объекта. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее свет. Отражательная способность определяется коэффициентом отражения  $r$ . В зависимости от цвета и фактуры поверхности значения коэффициента отражения изменяются в широких пределах – 0,02–0,95. Фон считается светлым при  $r > 0,4$ , средним при значениях  $r$  в диапазоне 0,2–0,4 и темным при  $r < 0,2$ .

Важной характеристикой, от которой зависит требуемая освещенность на рабочем месте, является размер объекта различения.

Размер объекта различения – это минимальный размер наблюдаемого объекта (предмета), его отдельной части или дефекта, которые необходимо различать при выполнении работы. Например, при написании или чтении, чтобы видеть текст, необходимо различать толщину линии буквы – толщина линии и будет размером объекта различения при написании или чтении текста. Размер объекта различения определяет характеристику работы и ее разряд. Например, при размере объекта менее 0,15 мм – разряд работы наивысшей точности (I разряд); при размере 0,15–0,3 мм – разряд очень высокой точности (II разряд); от 0,3 до 0,5 мм – разряд высокой точности (III разряд) и т. д. При размере более 5 мм – грубая работа.

Очевидно, чем меньше размер объекта различения (выше разряд работы) и меньше контраст объекта различения с фоном, на котором выполняется работа, тем больше требуется освещенность рабочего места, и наоборот.

Для того чтобы обеспечить условия, необходимые для зрительного комфорта, в системе освещения должны быть реализованы следующие предварительные требования:

- однородное освещение;
- оптимальная яркость;
- отсутствие бликов;
- соответствующая контрастность;
- правильная цветовая гамма;
- отсутствие стробоскопического эффекта или мерцания света.

Важно рассматривать свет на рабочем месте, руководствуясь не

только количественными, но и качественными критериями. Первым шагом здесь будет изучение рабочего места; точность, с которой должны выполняться работы; объем работы; степень перемещений рабочего при работе и т. д. Свет должен включать компоненты как рассеянного, так и прямого излучения. Результатом этой комбинации станет тенеобразование большей или меньшей интенсивности, которое должно позволить рабочему правильно воспринимать форму и положение предметов на рабочем месте. Раздражающие отражения, которые затрудняют восприятие деталей, следует устранять, так же, как и чрезмерно яркий свет или глубокие тени.

Каждый вид деятельности требует определенного уровня освещенности на том участке, где эта деятельность осуществляется.

Обычно, чем сильнее затруднено зрительное восприятие, тем выше должен быть средний уровень освещенности.

Кроме требований хорошей освещенности, рабочее место должно иметь равномерную освещенность. Во всяком случае, не должно быть значительной разницы в освещенности различных участков рабочего места для того, чтобы не требовалось частой переадаптации зрения. Например, поверхности книги и тетради, с которыми в данный момент осуществляется работа, должны иметь одинаковую освещенность. Подсветка с помощью небольшого светильника только поверхности тетради приведет к различию в освещенности тетради и книги. Частое обращение к последней потребует постоянной адаптации зрения, что в конечном счете приведет к быстрому зрительному утомлению, снижению работоспособности, общему утомлению, психическому напряжению. Письменный стол должен располагаться в хорошо освещенном месте, желательно у окна. Человек за письменным столом должен сидеть лицом или левым боком к окну (для левшей – правым боком) для того, чтобы избежать образования тени от тела или руки человека. Светильник искусственного освещения должен размещаться относительно тела человека аналогичным образом, его надо устанавливать над рабочим местом вне запретного угла, равного  $45^\circ$  (рис. 4.3). Кроме того, конструкция светильника должна исключать ослепление человека лучами, отраженными от рабочей поверхности. Для этого необходимо, чтобы арматура светильника предусматривала направление прямых лучей, исходящих от источника, под иными углами, исключающими попадание отраженного луча в глаз человека.



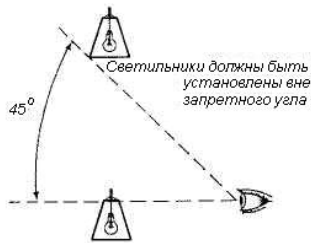


Рис. 4.3. Схема установки светильников

При переходе из хорошо освещенного участка или помещения на плохо освещенный участок требуется некоторый промежуток времени для адаптации глаза к низкой освещенности. В этот период человек плохо видит. Это может привести к тому, что человек споткнется, упадет, наткнется на какой-либо предмет и получит травму. Особенно большая опасность возникает при очень сильной разнице в освещенности — более чем в 20...30 раз, что требует значительного времени для глубокой переадаптации глаза, в течение которого человек плохо видит или не видит вообще.

Поэтому, если освещенность в помещении и коридоре, в который осуществляется выход из помещения, сильно различается, необходимо улучшить освещение в коридоре. Для снижения вероятности получения травмы указанные выше обстоятельства особенно важно учитывать на лестничных клетках и в других травмоопасных местах.

Цвет оказывает и психофизиологическое воздействие на человека. Известно, что поверхности голубых тонов, а также очень темные поверхности воспринимаются человеком как «отступающие», т. е. представляются расположенными дальше, чем в действительности. Это иногда ведет к кажущемуся увеличению размеров помещения. Красные тона, наоборот, представляются «выступающими». Некоторые цвета, например светло-фиолетовые, оказывают на человека раздражающее действие и способствуют очень быстрому утомлению. Другие же, в частности зеленый, дают противоположный результат. Субъективное восприятие человеком таких внешних факторов внешней среды, как температура, шум и другие, даже запахи, в определенной степени зависит от цветности поверхностей,

находящихся в поле зрения.

Психофизиологическое воздействие на человека цветности источников излучения и цвета поверхностей помещения обязательно нужно учитывать при цвето-световом оформлении интерьера. Например, для комнат отдыха, спален лучше применять лампы накаливания и цветовое оформление выполнять в мягких, успокаивающих, например желто-зеленых, тонах. Наоборот, в помещениях, в которых должна осуществляться работа, лучше применять люминесцентные лампы, а цветовое оформление выполнять в светлых, бодрящих тонах, стимулирующих активную деятельность.

Следует обратить внимание на то, что психофизиологическое воздействие цвета на человека учитывается как весьма важный фактор, определяющий вопросы безопасности (например, окраска автомобилей, знаков безопасности, опасных участков, трубопроводов, баллонов и т. д.). Следует отметить, что цвет имеет также и субъективно-индивидуальную сторону воздействия на эмоциональную сферу человека.

Существует множество методов расчета освещения. Основным методом расчета общего равномерного искусственного освещения при горизонтальной рабочей поверхности является метод светового потока (коэффициента использования). Необходимый световой поток  $\Phi_{л}$ , лм, от одной лампы накаливания или группы ламп светильника при люминесцентных лампах рассчитывают по формуле

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot z \cdot k}{N_{с} \cdot \gamma \cdot \eta},$$

где  $E_{н}$  – нормированная минимально допустимая освещенность, лк, которая определяется нормативом;  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $z$  – коэффициент неравномерности освещения, который зависит от типа ламп (для ламп накаливания и дуговых ртутных ламп – 1,15, для люминесцентных ламп – 1,1);  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и снижение светоотдачи в процессе эксплуатации, зависящий от вида технологического процесса, выполняемого в помещении, и рекомендуемый в нормативах СНиП 23–05–95 (обычно  $k = 1,3–1,8$ );  $N_{с}$  – число светильников в помещении;  $\gamma$  – коэффициент

затенения, который вводится в расчет только при наличии крупногабаритного оборудования, затеняющего рабочее пространство;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока ламп, учитывающий долю общего светового потока, приходящуюся на расчетную плоскость, и зависящий от типа светильника, коэффициента отражения потолка  $p_n$  и стен  $p_c$ , высоты подвеса светильников, размеров помещения, определяемых индексом  $i$  помещения.

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{H_c (A + B)},$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;  $H_c$  – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Коэффициент использования светового потока ламп определяют по таблицам, приводимым в СНиП 23–05–95 в зависимости от типа светильника,  $p_n$ ,  $p_c$  и индекса  $i$ .

По полученному в результате расчета световому потоку в соответствии с ГОСТ 2239–79\* и ГОСТ 6825–91 выбирают ближайшую стандартную лампу и определяют ее необходимую мощность. Умножив электрическую мощность лампы на количество светильников  $N_c$ , можно определить электрическую мощность всего освещения помещения.

При выборе типа лампы допускается отклонение от расчетного светового потока лампы  $\Phi_d$  до  $-10\%$  и  $+20\%$ . Если такую лампу не удалось подобрать, выбирают другую схему расположения светильников, их тип и повторяют расчет.

Расчет освещения от светильников с люминесцентными лампами целесообразно выполнять, предварительно задавшись типом, электрической мощностью и величиной светового потока ламп. С использованием этих данных необходимое число светильников определяют по формуле

$$N_c = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot k}{N_p \cdot \Phi_d \cdot \gamma \cdot \eta},$$

где  $N_p$  – число принятых рядов светильников.

Для проверочного расчета общего локализованного и комбинированного освещения, освещения наклонных и вертикальных поверхностей и для проверки расчета равномерного общего освещения горизонтальных поверхностей, когда отраженным световым потоком можно пренебречь, применяют точечный метод.

В основу точечного метода положена формула (расчетная схема изображена на рис. 4.4)

$$E_n \leq \frac{I_a \cdot \cos^2 \gamma}{k \cdot H^2},$$

где  $I_a$  – сила света в направлении от источника света к расчетной точке  $A$  рабочей поверхности, кд (определяется по светотехническим характеристикам источника света и светильника);  $H$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;  $\gamma$  – угол между нормалью к рабочей поверхности и направлением светового потока от источника.

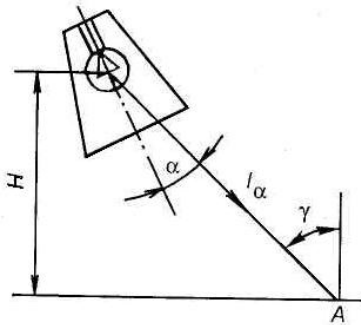


Рис. 4.4. Схема расчета точечным методом

При необходимости расчета освещенности в точке, создаваемой несколькими светильниками, подсчитывают освещенность от каждого из них, а затем полученные значения складывают. Должно выполняться условие  $E_n \leq E_{\Sigma}$ .

Целью расчета естественного освещения является аналитическое определение значения коэффициента естественного

освещения (КЕО). Это необходимо для правильной расстановки оборудования, определения положения рабочих мест. Расчет производят также для определения достаточности размеров оконных проемов для обеспечения минимально допустимого значения КЕО. Для расчета естественной освещенности могут применяться аналитические методы, но на практике определение значения КЕО в расчетной точке помещения осуществляют с использованием графиков и номограмм.

При использовании графических зависимостей расчет КЕО при боковом освещении осуществляют в следующей последовательности:

1) определяют непосредственным измерением или по строительным чертежам площадь  $S_C$ , м<sup>2</sup> световых проемов, площадь  $S_{\Pi}$ , м<sup>2</sup>, освещаемой части пола помещения и находят их отношение  $S_C/S_{\Pi}$  ;

2) определяют глубину  $h_{\Pi}$ , м, помещения от световых проемов до расчетной точки, высоту  $h_0$ , м, верхней грани световых проемов (окон) над уровнем рабочей поверхности и находят их отношение  $h_{\Pi}/h_0$  ;

3) с использованием специального графика по значениям отношения  $S_C/S_{\Pi}$  и  $h_{\Pi}/h_0$  находят значение КЕО.

Для определения значения КЕО может также применяться графический метод А. М. Данилюка, пригодный при легкой сплошной освещенности, т. е. при диффузном распространении светового потока. Метод сводится к тому, что полусферу небосвода разбивают на 10 000 участков равной световой активности и подсчитывают, какое число этих участков видно из расчетной точки помещения через световой проем, т. е. графически определяют, какая часть светового потока от всей небесной полусферы непосредственно попадает в расчетную точку.

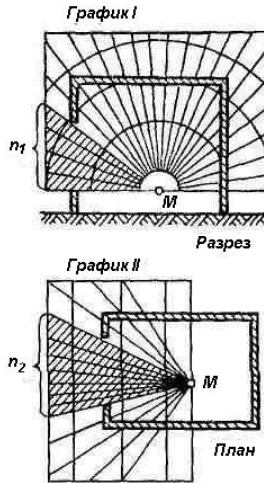


Рис. 4.5. Схема для расчета естественного освещения по методу А. М. Данилюка

Число видимых через световой проем участков небосклона находят при помощи двух графиков (рис. 4.5), представляющих собой пучок проекций лучей, соединяющих центр полусферы небосвода с участками равной световой активности по высоте (график I) и по ширине (график II) светового проема.

Для расчета по методу А. М. Данилюка на листе бумаги выполняют разрезы помещения – поперечный разрез и в плане – в масштабе, соответствующем масштабу графиков. Затем накладывают график I на поперечный разрез так, чтобы основание графика совпадало со следом расчетной плоскости рабочей поверхности, а полюс графика с расчетной точкой  $M$ , и определяют число лучей, проходящих через контур светового проема. График II накладывают на план помещения так, чтобы его основание было параллельно плоскости расположения светового проема и было расположено от нее на расстоянии, равном расстоянию от расчетной точки до середины светового проема по высоте на поперечном разрезе. При этом полюс графика должен находиться на пересечении его основания с горизонтальной линией, проведенной на плане помещения через расчетную точку. Подсчитывают число  $n_2$  лучей, проходящих через

контур светового проема по ширине. Значение КЕО в расчетной точке, %, помещения определяют как  $КЕО = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2$ .

## **5. Основы эколого-экономической экспертизы**

### **5.1. Эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы**

Загрязнение окружающей среды приводит к негативным последствиям, которые влияют на экономическое развитие общества, снижая научный, технический, социальный, культурный уровень регионов.

При анализе производственной, бытовой деятельности человека используют эколого-экономические оценки, выраженные в стоимостных показателях затрат труда, необходимых для поддержания устойчивого развития биосферы и сохранения эволюционного развития общества. Стоимостные показатели затрат труда определяют в денежном выражении, рассчитывая экономический эффект от загрязнения биосферы.

Затраты труда на сохранение устойчивого развития биосферы в процессе деятельности людей состоят из следующих компонентов:

- устранение вредного воздействия материальных, энергетических, информационных потоков, поступающих в экологические системы;

- сохранение уровня производства и экономического состояния общества, вызванного действием закона снижения энергетической эффективности природопользования. Вредное воздействие материальных, энергетических, информационных потоков проявляется в увеличении количества заболеваний и смертности людей, снижении продолжительности жизни, производительности труда, что сказывается на экономической эффективности общественного производства.

Закон снижения эффективности природопользования проявляется не только при загрязнении биосферы, но и при истощении запасов минерального сырья, различных видов топлива,

интенсификации поиска новых сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Все это отражается на величинах затрат, связанных с изготовлением продукции.

Экономический ущерб, вызванный поступлением в биосферу вредных веществ и нерациональным использованием природных ресурсов, можно записать в виде суммы:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2,$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический ущерб, вызванный производственной и бытовой деятельностью человека, руб.;  $\mathcal{E}_1$  – экономический ущерб вызванный поступлением вредных веществ в биосферу, руб.;  $\mathcal{E}_2$  – экономический ущерб от снижения эффективности природопользования (нерациональное использование природных ресурсов), руб.

Существует несколько методов расчета эколого-экономического ущерба, учитывающих различные виды воздействия человека на природу, но единой унифицированной методики не создано. Отсутствие унифицированного метода расчета связано с несколькими факторами.

Во-первых, все методы расчетов дают величины экологического ущерба, которые достаточно трудно проверить на практике. Во-вторых, невозможно учесть все факторы, влияющие на эффективность природопользования, особенно отдаленные последствия от загрязнения окружающей среды. В третьих, все эколого-экономические расчеты основаны на использовании линейной модели зависимости экономического ущерба от параметров системы. В четвертых, расчеты имеют корреляционный характер, поэтому в отдельных случаях реальное, желаемое и наблюдаемое состояние отличаются друг от друга.

Рассматривая основные законы экологии и их последствия, нужно отметить, что в действительности развитие биосферы под воздействием различных факторов не носит линейного характера, что необходимо учитывать при оценке ущерба от загрязнения природы.

Рассмотрим наиболее распространенную линейную модель оценки величины ущерба от загрязнения атмосферы, учитывающую поступление вредных веществ в воздух. В этой модели ущерб от загрязнения атмосферы определяют по формуле



$$\bar{E}_1^{\text{возд}} = \bar{k} \cdot \gamma_1 \cdot \delta_1 \cdot \bar{f} \cdot M_1,$$

где  $\bar{k}$  – коэффициент, характеризующий состояние экономики общества (поправка на инфляцию);  $\gamma_1$  – удельный ущерб от выброса в атмосферу одной условной тонны вещества, равный 2,4 руб/усл.т;  $\delta_1$  – показатель относительной опасности вещества для данной территории;  $\bar{f}$  – поправка на характер рассеивания примесей в атмосфере;  $M_1$  – приведенная масса годового выброса, усл.т/год.

Приведенную массу годового выброса находят по формуле

$$M_1 = \sum_{i=1}^N B_i \cdot m_i, \quad B_i = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5,$$

где  $m_i$  – масса выброса, т/год;  $\alpha_1$  – показатель относительной опасности вещества для человека;  $\alpha_2$  – коэффициент, учитывающий вероятность накопления вещества и последующего поступления в организм человека неингаляционным путем;  $\alpha_3$  – показатель опасности вещества для природы (кроме человека);  $\alpha_4$  – вероятность вторичного поступления вещества в атмосферу (образование пыли);  $\alpha_5$  – вероятность образования более токсичных веществ из исходных.

Показатель относительной опасности вещества для человека зависит от соотношения ПДК эталона (обычно берут оксид углерода (II) и загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны и населенных мест:

$$\alpha_1 = \sqrt{\left(\text{ПДК}_{\text{PЗ}}^{\text{CO}} \cdot \text{ПДК}_{\text{CC}}^{\text{CO}}\right)} / \sqrt{\left(\text{ПДК}_{\text{PЗ}}^{\text{C}} \cdot \text{ПДК}_{\text{CC}}^{\text{C}}\right)},$$

где  $\text{ПДК}_{\text{PЗ}}^{\text{CO}}$ ,  $\text{ПДК}_{\text{CC}}^{\text{CO}}$  – предельно допустимые концентрации оксида углерода (II) в воздухе рабочей зоны и среднесуточные, мг/м<sup>3</sup>;  $\text{ПДК}_{\text{PЗ}}^i$ ,  $\text{ПДК}_{\text{CC}}^i$  – предельно допустимые концентрации загрязняющего вещества, мг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент вероятности накопления вещества и последующего поступления в организм равен:  $\alpha_2 = 5$  для токсичных металлов и оксидов ванадия, марганца, кобальта, никеля, хрома, цинка,

мышьяка, кадмия, сурьмы, олова, платины, ртути, свинца, урана, трансураниевых элементов;  $\alpha_2 = 2$  для других металлов и оксидов, ароматических углеводородов, бензпирена;  $\alpha_2 = 1$  для других загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу.

Показатель относительной опасности выбросов для природы равен:  $\alpha_3 = 2$  в случае кислот, щелочей;  $\alpha_3 = 1,5$  для оксидов серы и азота, сероводорода, сероуглерода, неорганических соединений фтора;  $\alpha_3 = 1,2$  для неорганических пылей оксидов токсичных металлов, органических веществ;  $\alpha_3 = 1$  для других соединений, в том числе для металлов и их оксидов: кальция, железа, магния, калия.

Вторичный выброс пылей и аэрозолей зависит от количества осадков, выпадающих в регионе. Для территорий со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм/год принимают  $\alpha_4 = 1,2$ , в остальных случаях  $\alpha_4 = 1$ .

Вероятность образования токсичных веществ принимается равной:  $\alpha_5 = 5$  для углеводородов, топлива, бензинов при поступлении в атмосферу южнее  $45^\circ$  северной широты;  $\alpha_5 = 2$  для тех же веществ при поступлении в атмосферу севернее  $45^\circ$  северной широты;  $\alpha_5 = 1$  для других веществ.

Поправка на характер рассеивания примесей в атмосфере зависит от выброса, скорости ветра, теплового подъема факела и скорости оседания частиц:

$$\bar{f} = \frac{100}{100 - \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}$$

при скорости оседания частиц менее 1 см/с (для газов);

$$\bar{f} = \frac{100}{60 - \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}$$

при скорости оседания частиц от 1 до 20 см/с;

$$\bar{f} = 10$$

при скорости оседания частиц более 20 см/с.

Поправка на тепловой подъем факела

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75},$$

где  $\Delta T$  – разница температур устья источника выброса в атмосфере;  $H$  – высота выброса, м;  $U$  – среднегодовое значение модуля скорости ветра в данном регионе, м/с (если  $U$  неизвестно, берут  $U = 3$  м/с).

Значение показателя относительной опасности для данной территории показано в табл.5.1.

Предположим, что выброс загрязняющего вещества происходит на границе нескольких территорий с различными значениями показателя относительной опасности  $\delta_i$  (см. табл. 5.1). В этом случае находят зону активного загрязнения (ЗАЗ):

– для труб с высотой выброса менее 10 м ЗАЗ – круг радиуса  $50 \cdot H$ ;

– для труб с высотой выброса более 10 м ЗАЗ – кольцо с внутренним радиусом  $2 \cdot j \cdot H$  и внешним  $20 \cdot j \cdot H$ ;

– для низких неорганизованных источников ЗАЗ находят по рельефу неорганизованного источника – кривая с расстоянием  $20 \cdot H$  до ближайшей точки границы источника выброса.

С учетом площадей территорий, входящих в зону активного загрязнения, показатель относительной опасности вещества находят по формуле

$$\sigma_1 = \sum_{i=1}^N \frac{S_i \cdot \sigma_i}{S_0},$$

где  $S_i$  – площадь ЗАЗ для территории, соответствующей значению  $\sigma_i$ , м<sup>2</sup>, км<sup>2</sup>;  $S_0$  – общая площадь ЗАЗ, м<sup>2</sup>, км<sup>2</sup>.

Таблица 5.1

**Показатель относительной опасности выбросов  
для различных территорий**

Территория	$\delta_i$
------------	------------

Курорты, санатории, заповедники	10
Дачи, сады, пригороды	8
Территории с плотностью населения $n_1$ чел/га	$0,1 \cdot n_1$
Город с населением свыше 300 000 чел. ( центр )	8
Лес 1-й группы	0,2
Лес 2-й группы	0,1
Лес 3-й группы	0,025
Сады, виноградники обычные	0,5
Сады, виноградники орошаемые	1,0
Пашни орошаемые	0,2
Пастбища	0,1

Коэффициент, характеризующий состояние экономики общества (поправка на инфляцию), принят равным единице для состояния экономики России на период 1984–1985 гг. В другие периоды времени расчет проводят на основе сопоставления стоимостного курса рубля к 1985 г.

*Пример 1.* Эколого-экономический ущерб от загрязнения атмосферы выбросами отопительной станции составил 100 000 руб/год в стоимостном курсе рубля 1985 г. Оценить эколого-экономический ущерб в стоимостном курсе рубля конца 1992 г.

*Решение.* Соотношение стоимостного курса рубля в 1992 и 1985 гг. составляет 971. Эколого-экономический ущерб в стоимостном курсе рубля 1992 г.

$$\mathcal{E}_1^{\text{возд}} = 100\,000 \cdot 971 = 97\,100\,000 \text{ руб/год.}$$

Предложенная методика расчета эколого-экономического ущерба может служить основой дискуссии о величинах коэффициентов, влияющих на размер ущерба, о методическом подходе к расчету, о границах линейной эколого-экономической модели и точности проведенных вычислений.

По целевому назначению все мероприятия по охране биосферы с экономической точки зрения разделяют на три группы:

– одноцелевые средозащитные мероприятия, направленные на снижение или полное прекращение выбросов, сбросов за счет установки средозащитной техники или внесения изменений в технологию производств;

– одноцелевые ресурсосберегающие мероприятия, направленные на экономию топлива, сырья, снижение потерь вещества и энергии при транспортировке и хранении, внедрении новых менее материало- и энергоемких технологических процессов;

– многоцелевые средозащитные мероприятия с комплексным решением задач по охране природы: создание замкнутых систем водоснабжения, рекуперация полезных веществ, утилизация отходов, подлежащих захоронению и т.д.

Для сопоставления различных природоохранных мероприятий используют величину приведенных затрат, необходимых для реализации решений по защите природы. Приведенные затраты включают затраты на создание продукции с частичной окупаемостью капитальных вложений, затраты от ущерба природе:

$$ПЗ = C + E_n \cdot K + \mathcal{E}_1,$$

где ПЗ – приведенные затраты, руб/год;  $C$  – затраты на производство продукции (себестоимость продукции), руб/год;  $E_n$  – коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15;  $K$  – капитальные затраты, руб;  $\mathcal{E}_1$  – экономический ущерб от загрязнения природы, руб/год.

Сравнение средозащитных мероприятий, сопоставимых по составу продукции и объемам производства, позволяет выбрать наиболее экономический эффективный вариант из условия минимума затрат:

$$\delta ПЗ = \min ПЗ.$$

Приведенные затраты существующего и предлагаемого производства определяют экономический эффект технических решений:

$$\Delta \mathcal{E} = ПЗ_2 - ПЗ_1,$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  – экономический эффект предлагаемого технического решения, руб/год;  $ПЗ_1$ ,  $ПЗ_2$  – приведенные затраты предлагаемого и базового вариантов технических решений производства, руб/год.

В качестве показателя, характеризующего эколого-экономический ущерб, используют предотвращенный ущерб природе:

$$\Delta\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_1^2 - \mathcal{E}_1^1,$$

где  $\Delta\mathcal{E}_1$  – предотвращенный эколого-экономический ущерб, руб/год;  $\mathcal{E}_1^1, \mathcal{E}_1^2$  – ущерб от загрязнения при работе действующего и базового технологического процесса соответственно, руб/год.

Выбор базовой технологии зависит от стадии выполнения эколого-экономической экспертизы. Так, на стадии проектирования за базу сравнения принимают лучшие мировые технические решения. На действующих производствах за базу сравнения принимают реальное производство.

Для средозащитных мероприятий в отдельных случаях рассчитывают абсолютную экономическую эффективность (АЭЭ):

$$АЭЭ = \frac{\Delta\mathcal{E} - C^1}{K^1},$$

где  $\Delta\mathcal{E}$  – предотвращенный ущерб, руб/год;  $C^1$  – текущие затраты на проведение мероприятия, руб/год;  $K^1$  – капитальные вложения на осуществление средозащитных работ, руб/год.

Абсолютную экономическую эффективность определяют в тех случаях, когда известны текущие и капитальные затраты. Показатель АЭЭ не должен быть ниже нормативного, установленного для данного уровня технологии.

## **5.2. Эколого-экономический ущерб от загрязнения водоемов и почвы**

Линейная модель зависимости эколого-экономического ущерба от загрязнения воды построена по принципу пропорциональности величины ущерба от количества вредных веществ, поступивших в водный объект региона:

$$\mathcal{E}_1^{\text{вод}} = \bar{K}_1 \cdot \gamma_2 \cdot \sigma_2 \cdot M_2,$$

где  $\mathcal{E}_1^{\text{вод}}$  – эколого-экономический ущерб от загрязнения водоема, руб/год;  $\gamma_2$  – удельный ущерб от сброса условной тонны вещества в водоем, равный 400 руб/усл.т;  $\sigma$  – показатель относительной опасности веществ для данного региона;  $\bar{K}_1$  – коэффициент, характеризующий состояние экономики общества (поправка на инфляцию,  $\bar{K}_1=1$  для 1985 г.);  $M_2$  – приведенная масса годового сброса, усл.т.

Приведенная масса годового сброса пропорциональна массе, умноженной на показатель относительной опасности вещества:

$$M_2 = \sum_{i=1}^N \bar{B}_i \cdot m_i; \bar{B}_i = \frac{1}{\text{ПДК}_{\text{p/x}}},$$

где  $M_2$  – масса сброса, т;  $\bar{B}_i$  – показатель относительной опасности вещества;  $\text{ПДК}_{\text{p/x}}$  – предельно допустимая концентрация вещества в водоемах рыбохозяйственного назначения (как правило, нормативы выбросов для водоемов рыбохозяйственного назначения ниже нормативов для воды культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водопользования).

При отсутствии предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного назначения используют ПДК культурно-бытового или хозяйственно-питьевого водопользования, а в случае неисследованных веществ, берут условную величину  $\bar{B}_i$ , равную 50 000.

Показатели относительной опасности веществ для данных регионов приведены в табл. 5.2. Каждый показатель равен статистическому весовому вкладу в ущерб для отдельных бассейнов рек.

Таблица 5.2

**Показатели относительной опасности веществ**

**для различных бассейнов рек**

Наименование бассейнов рек	Административный участок	Показатель $\delta_2$
Нева (устье)	Санкт-Петербург, Псковская обл.	0,47
Северная Двина (устье)	Архангельская, Вологодская области	0,22
Дон (устье)	Тамбовская обл.	1,63
Северский Донец	Белгородская, Харьковская области	3,79
Дон	Ростовская обл.	1,87
Кубань	Краснодарский край	2,60
Обь	Новосибирская обл.	0,92
Енисей	Красноярский край	0,19
Амур	Хабаровский край	0,19
Волга (устье Оки)	Московская, Тульская, Орловская области	2,6

Ущерб от сброса примесей, влияющих на содержание кислорода, оценивают по общей массе кислорода, растворенного в воде, необходимого для полного окисления веществ, а показатель относительной опасности веществ, влияющих на содержание кислорода, равен 0,33.

Приведенная масса загрязнения водоемов бактериальной микрофлорой зависит от отношения коли-индекса в сбросе и его нормативного содержания:

$$M_{\delta} = \frac{K^1}{K_0^1} \cdot v,$$

где  $K^1$  – коли-индекс в сточных водах;  $K_0^1$  – норматив коли-индекса;  $v$  – объем сброса, млн м<sup>3</sup>/год.

Производственные и бытовые отходы обезвреживают различными методами переработки или складировуют на свалках, отвалах. В зависимости от методов обезвреживания, складирования происходит вторичное загрязнение атмосферы, воды, почвы. Уровень вторичного загрязнения биосферы зависит от химического состава отходов, их массы, распределения по составу в различных участках экологической системы.

При отчуждении земельных ресурсов ориентировочную оценку эколого-экономического ущерба проводят по формуле



$$\mathcal{E}_1^n = \bar{K}_1 \cdot \gamma_3 \cdot \sigma_3 \cdot M_3,$$

где  $\bar{K}_1$  – коэффициент, характеризующий состояние экономики общества,  $K_1 = 1$  для 1985 г.;  $\gamma_3$  – удельный ущерб от сброса данного вида твердых отходов, руб/т;  $\sigma_3$  – показатель относительной ценности земельных ресурсов;  $M_3$  – масса годового сброса твердых отходов, т/год.

Удельный ущерб от выброса загрязнителя в почву равен 2 руб/т для неорганических отходов, 3 руб/т для отходов бытовых свалок и органических веществ.

Показатели относительной ценности земельных ресурсов приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

### Показатели относительной ценности земельных ресурсов

Земельные ресурсы	Показатель, $\delta^3$
Лес	0,5
Суглинистые почвы	0,5
Лесостепь	0,7
Черноземные почвы	1,0
Орошаемые сельскохозяйственные угодья	2,0

Более точный ущерб от загрязнения почвы учитывает вторичное поступление вредных веществ в воздушный и водный бассейны  $\mathcal{E}_1^{\text{возд}}$ ,  $\mathcal{E}_1^{\text{вод}}$ ; отторжение земель под полигоны, свалки  $S_1$ ; затраты на погрузку, разгрузку, перевозку отходов  $S_2$ ; затраты на создание, эксплуатацию систем складирования и уничтожения отходов  $S_3$ :

$$\mathcal{E}_1^n = \mathcal{E}_1^{\text{возд}} + \mathcal{E}_1^{\text{вод}} + S_1 + S_2 + S_3.$$

В приведенном выше уравнении параметры  $S_2$ ,  $S_3$  существенно зависят от токсикологических характеристик веществ. Для особо токсичных и радиоактивных материалов затраты на содержание

полигонов превышают другие виды статей эколого-экономического ущерба.

Так, в стоимостном курсе рубля 1985 г. затраты на автомобильную перевозку составили в среднем по России 0,07 руб/т; тарифы на выполнение погрузочно-разгрузочных операций – 5,7 руб/т. Капитальные затраты по хранению неорганических отходов от заводов по производству минеральных удобрений – 0,75 руб/т, из них 0,25 руб/т – эксплуатационные, 0,5 руб/т – текущие затраты.

При хранении радиоактивных отходов затраты на хранение и эксплуатацию полигонов возрастают в десятки раз и существенно превышают затраты на перевозку и погрузочно-разгрузочные работы.

Сравнение средозащитных мероприятий осуществляют из условия максимальных приведенных затрат.

Предполагается, что средозащитные мероприятия осуществляют на производстве в сопоставимых условиях – одинаковое количество продукции, объем производства.

Существует методика выбора лучшего варианта по экономическому эффекту мероприятия:

$$\mathcal{E}_1 = (\Delta\mathcal{E} - \mathcal{Z}); \delta\mathcal{E}_1 = \max \mathcal{E}_1,$$

где  $\Delta\mathcal{E}$  – предотвращенный ущерб, руб/год;  $\mathcal{Z}$  – затраты, руб/год.

Данная методика предполагает, что сроки эксплуатации природоохранных мероприятий одинаковы, а затраты и результаты от внедрения существенно не меняются.

Сравнение вариантов охраны биосферы с неодинаковыми периодами строительства, реконструкции предприятия, изменяющимися результатами в каждом году проводят по суммарному экономическому эффекту за период эксплуатации и внедрения мероприятия:

$$\sum_{i=t_0}^t \mathcal{E}_{1i} = \sum_{i=t_0}^t \frac{\Delta\mathcal{E}_i}{(1 + \varepsilon)^{i-t_0}} - \sum_{i=t_0}^t \frac{K_i + C_i}{(1 + \varepsilon)^{i-t_0}},$$

где  $\Delta\mathcal{E}_i$  – предотвращенный ущерб для  $i$ -го года;  $\varepsilon$  – нормативный коэффициент приведения разновременных затрат, равный 0,08 – для

обычных затрат,  $0,1$  – для затрат на новую технику,  $0,03$  – для затрат на восстановление лесных насаждений и рекультивацию земель;  $t_0$  – год начала эксплуатации объекта;  $t$  – год завершения эксплуатации объекта;  $t_0$  – базовый момент времени, к которому приводятся затраты (конец года по сроку ввода объекта в эксплуатацию или число лет, отделяющих  $i$ -й год осуществления затрат (получения результатов) от расчетного года).

Технико-экономическое обоснование или эколого-экономическую экспертизу проекта, процесса проводят на всех этапах работы. Предпочтительно делать экспертные оценки на стадии проектирования и внедрения технологических работ и средозащитных мероприятий. Выделим следующие виды эколого-экономических расчетов:

- расчет предварительного экономического эффекта (начальные стадии работ);
- обоснование целесообразности принимаемых решений (начальные стадии работы);
- расчет ожидаемого экономического эффекта (стадия внедрения работы);
- расчет планового экономического эффекта (стадия завершения внедрения работ);
- расчет экономического эффекта (эксплуатация объекта).

В состав технико-экономического обоснования входят разделы:

- анализ производственных, научных, технических, социально-экономических проблем в области данного исследования;
- цель, задачи, содержание работы;
- сроки проведения работ и объемы финансирования;
- выбор базы сравнения;
- анализ различных технических решений и расчет эколого-экономического ущерба;
- выбор оптимального варианта;
- выводы и рекомендации по данной работе.

В технико-экономическом обосновании разрабатывают вариант проекта, удовлетворяющий требованиям экологии по эксплуатации предприятий, сооружений и иных объектов при выполнении любой деятельности.

## 5.2. Нормативно-правовая база мониторинга

## **и экспертизы безопасности жизнедеятельности**

Мониторинг и экспертизу безопасности жизнедеятельности осуществляют с целью обеспечения безопасности функционирования объектов техносферы, предотвращения возникновения аварийных ситуаций, проведения экспертных оценок воздействия на природу техногенной деятельности человека.

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Основой законодательства Российской Федерации в сфере мониторинга безопасности жизнедеятельности является Федеральный закон «Об охране окружающей среды».

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» принят Государственной Думой 20 декабря 2001 г. Основные положения в этом законодательном акте заключаются в следующем:

- установлены требования в области охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- определена организация государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга).

В данном федеральном законе даны определения применяемых в сфере мониторинга окружающей среды и промышленной безопасности опасных производственных объектов основных понятий:

окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов;

природная среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов;

компоненты природной среды – земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле;

природный объект – естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства;

охрана окружающей среды – деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов для предотвращения негативного воздействия деятельности человека на окружающую среду и ликвидацию ее последствий;

мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов;

экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Общие требования в области охраны окружающей среды при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, консервации и ликвидации зданий, строений, сооружений и иных объектов в соответствии со статьей 34 данного закона заключаются в следующем:

– размещение, проектирование, строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, консервация и ликвидация зданий, строений, сооружений и иных объектов, оказывающих прямое или косвенное негативное воздействие на окружающую среду, осуществляются в соответствии с требованиями в области охраны окружающей среды. При этом должны предусматриваться мероприятия по охране окружающей среды, восстановлению природной среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, обеспечению экологической безопасности;

– нарушение требований в области охраны окружающей среды влечет за собой приостановление размещения, проектирования, строительства, реконструкции, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, консервации и ликвидации зданий, строений, сооружений и иных

объектов по предписаниям органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление в области охраны окружающей среды;

– прекращение в полном объеме размещения, проектирования, строительства, реконструкции, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, консервации и ликвидации зданий, строений, сооружений и иных объектов при нарушении требований в области охраны окружающей среды осуществляется на основании решения суда и (или) арбитражного суда.

Организация государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) является одной из главных целей федерального закона.

Государственный мониторинг окружающей среды осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации в целях наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе за состоянием окружающей среды в районах расположения источников антропогенного воздействия и воздействием этих источников на окружающую среду, а также в целях обеспечения потребностей государства, юридических и физических лиц в достоверной информации, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды. Порядок организации и осуществления государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга) устанавливается Правительством Российской Федерации. Информация о состоянии окружающей среды, ее изменении, полученная при осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга), используется органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления для разработки прогнозов социально-экономического развития и принятия соответствующих решений, разработки федеральных программ в области экологического развития Российской Федерации, целевых программ в области охраны окружающей среды субъектов Российской Федерации и мероприятий по охране окружающей среды.

По своему отношению к природе человечество прошло несколько этапов:

- приоритет экономических интересов и полное пренебрежение законами экологии;

- частичное соблюдение законов рационального природопользования;

- сочетание экономических интересов с законами экологии;

- наконец, человечество вступает в стадию полного подчинения экономических интересов законам экологии – в любом другом случае развитие биосферы приведет к гибели людей (неустойчивое развитие).

Экологический кодекс России по своему уровню отвечает предпоследнему этапу сочетания экономических и экологических интересов, поэтому предстоит его долгое совершенствование для того, чтобы ведущий принцип закона «Об охране окружающей природной сре-

ды» – сочетание экологических и экономических интересов – был заменен на подчинение интересов экономики интересам экологии.

Экологический кризис – это следствие длительного игнорирования законов экологии, отсутствие правил взаимоотношения с природой.

В России 13% населения живет в неблагоприятных природных условиях (данные на 1990 г.), более 100 городов находятся в условиях, когда концентрация вредных веществ превышает допустимые значения в 10 раз. Ежегодно в экономику необходимо вкладывать 150–200 млрд руб. (стоимостный курс рубля в 1990 г.) для предотвращения деградации окружающей природной среды.

Отсутствие специальных нормативов взаимоотношений с природой при переходе к рыночным отношениям приведет к увеличению нагрузки на природу, что связано с коммерциализацией природных объектов, сдачей в аренду природных ресурсов совместным компаниям, акционерным обществам.

Закон решает несколько задач:

- охрану биосферы;

- оздоровление природы;

- предупреждение загрязнения окружающей среды;

- сочетание эколого-экономических интересов общества.

Задача по охране биосферы решается путем установления предельно допустимых норм воздействия на природу и человека химических веществ, энергетических потоков, радиации

биологического воздействия, физического воздействия (шум, вибрация). На основе нормативов ПДК устанавливают предельно допустимые выбросы, предельно допустимые сбросы предприятий, технологических процессов.

Наконец, последний этап охраны биосферы – установление контроля за соблюдением нормативов и устранение вредных воздействий (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Взаимосвязь между параметрами и жизнестойкостью системы

В законе сформулированы основные требования к структурам, ведущим хозяйственную деятельность, – предприятиям, кооперативам акционерным обществам и т.д.

В равное положение поставлены все хозяйствующие субъекты и граждане России.

Существует несколько требований к взаимоотношениям субъектов природопользования:

- требования к субъектам, ведущим хозяйственную деятельность;
- требования к технологиям (планирование, проектирование, экспертиза, размещение, строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатация);
- требования к видам хозяйственной деятельности: к сельскому хозяйству, энергетике, промышленности, строительству.

Во втором разделе закона впервые введено право граждан на здоровую и благоприятную окружающую природную среду. Право остается декларацией при отсутствии механизма реализации закона, поэтому это право обеспечивается:

- планированием и нормированием качества окружающей природной среды;



- мерами по предотвращению экологически вредной деятельности хозяйствующих субъектов;

- оздоровлением окружающей природной среды, ликвидацией и предупреждением последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

- социальным и государственным страхованием граждан, образованием государственных и общественных резервных фондов помощи и медицинского обслуживания населения;

- предоставлением реальных возможностей для проживания людей в условиях благоприятной для жизни и здоровья окружающей природной среды (отмена прописки, право на получение земли и ведение личного хозяйства);

- возмещением в судебном или административном порядке вреда, причиненного здоровью граждан в результате загрязнения окружающей природной среды и иных вредных воздействий, в том числе аварий и катастроф;

- государственным контролем за состоянием окружающей природной среды и соблюдением природоохранного законодательства.

Граждане имеют следующие права:

- требовать предоставления экологической информации;

- требовать проведения экологической экспертизы;

- проводить собрания, митинги, демонстрации в защиту своих экологических интересов;

- обращаться в административные судебные органы с требованием о прекращении деятельности вредных предприятий и исками о возмещении вреда.

Один из основных механизмов реализации закона – стимулирование интереса природопользования к экологии:

- предоставление кредитов и льгот при внедрении экологически чистых технологий;

- изъятие части денежного дохода за пользование природными ресурсами;

- введение специальных налогов за экологически вредную продукцию.

Экономические методы стимулирования охраны природы включают следующие платежи:

- плату за природные ресурсы;

– плату за загрязнение окружающей природной среды.

Плата за природные ресурсы взимается за право пользования природными ресурсами в пределах установленных лимитов, за сверхлимитное, нерациональное использование природных ресурсов. Кроме того, субъекты природопользования платят за воспроизводство и охрану биосферы.

Разработана специальная система оплаты за загрязнение биосферы, изложенная в постановлении Российской Федерации № 632 от 28 августа 1992 г. «О порядке определения платы за загрязнение окружающей среды». Постановление распространяется на любые виды деятельности, на все предприятия, на физических и юридических лиц.

Установлены два вида нормативов:

– за выбросы, сбросы и другие виды вредного воздействия в пределах нормативов;

– за выбросы, сбросы и другие виды вредного воздействия в пределах установленных лимитов (временно согласованных норм).

Для каждого вещества установлены базовые нормы выплат. Территория России разделена на участки, которые имеют специальные коэффициенты, определяющие величину выплат по отношению к базовым нормам (учет значимости территорий, природно-климатических факторов и т.д.).

Ставки выплат находят путем умножения базовых норм платы на региональный коэффициент.

Плату за загрязнение окружающей среды в пределах лимитов определяют путем умножения ставок платы на разницу между лимитными выбросами, сбросами и нормативами ПДВ, ПДС.

Плату за сверхлимитные выбросы осуществляют в увеличенном пятикратном размере.

При отсутствии разрешения на ПДС, ПДВ субъекты природопользования платят за загрязнения как за сверхлимитные.

Экономические интересы к природе дополняются мерами административно-правового воздействия, такими, как:

– экологическая экспертиза проектов, технологий, процессов, влияющих на загрязнение природы;

– осуществление экологического контроля за уровнем загрязнения биосферы;

– административно-правовое пресечение нарушений законодательства по охране природы.

Большое значение уделено проведению экологической экспертизы, которая организуется Министерством экологии и природных ресурсов. При проведении экспертиз учитывают все факторы воздействия на природу, в том числе оценивают социально-экономические последствия, вызываемые при реализации проектов, технологических решений.

Общественный экологический контроль осуществляют профсоюзы, общественные объединения, трудовые коллективы, граждане. Контроль ставит своей задачей проверку выполнения требований закона.

Важнейшее требование экологизации экономики России заключается в экологическом воспитании, образовании людей. Принципы экологического воспитания и образования людей следующие:

- всеобщность, комплексность, непрерывность экологического воспитания и образования;
- обязательность преподавания экологических знаний в учебных заведениях;
- осуществление профессиональной экологической подготовки руководящих работников и специалистов;
- распространение экологических знаний;
- стимулирование научных экологических исследований.

Закон в комплексе с мерами организационного, правового, экономического и воспитательного воздействия призван способствовать формированию и укреплению экологического правопорядка и обеспечению экологической безопасности России.

## **Заключение**

Переход к новым механизмам хозяйствования и развитому рынку невозможен без рационального и эффективного использования ресурсов, снижения экологического и экономического ущерба от аварийности и травматизма. Решение этой важной задачи требует научно обоснованных подходов к организации и обеспечению экологической и техногенной безопасности всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и энергетики.

Практически всегда техногенные чрезвычайные ситуации оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду, поэтому могут быть отнесены и к проблемам экологической безопасности.

Актуальность проблемы обеспечения экологической и промышленной безопасности особенно возрастает на современном этапе социально-экономических преобразований и развития производительных сил, когда из-за трудно предсказуемых социальных, техногенных и экологических последствий чрезвычайных ситуаций возникает угроза самому существованию человеческого общества.

Цель государственной политики в области управления промышленно-экологической безопасностью состоит в обеспечении гарантированного уровня безопасности личности, общества и окружающей среды в пределах показателей приемлемого риска, критерии (нормативы) которых устанавливаются для соответствующего периода социально-экономического развития страны с учетом мирового опыта в данной области. Государственная политика в области управления экологической и техногенной безопасностью строится в рамках строгих ограничений воздействий на технические системы и окружающую среду, состоящих из требований о непревышении предельно допустимых уровней техногенных воздействий, предельно допустимых концентраций и предельно допустимых техногенных и антропогенных нагрузок на экосистемы.

Система обеспечения промышленной и экологической безопасности основана на организационных, управленческих и технических принципах.

Значительное место в проблеме обеспечения промышленной и экологической безопасности занимает оценка безопасности при нормальной эксплуатации путем мониторинга и аудита ее состояния на конкретном производственном объекте. Объектом мониторинга и аудита промышленной и экологической безопасности являются системы «человек – машина – среда обитания», а предметом изучения безопасности – объективные закономерности возникновения и предупреждения происшествий при функционировании таких систем.

Мониторинг промышленной безопасности является составной частью управления промышленно-экологической безопасностью. Мониторинг промышленной безопасности заключается в систематическом использовании всей доступной информации для

идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Результаты мониторинга используются при декларировании промышленно-экологической безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной и экологической безопасности, обосновании технических решений по обеспечению безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности, оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду.

## Библиографический список

1. Конституция Российской Федерации: официальный текст. – М.: Омега – Л, 2006. – 38 с. – (Библиотека Российского законодательства).
2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 года № 7-ФЗ // Российская газета – 2002. – № 6. – 12 янв.
3. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 года № 116 –ФЗ// Парламентская газета – 2006. – № 2.
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов/ С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др. – М.: Высш. шк., 2004. – 606 с.
5. *Бондарь, А. Г.* Планирование эксперимента в химической технологии /А. Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – Киев: Вища школа, 1976. – 184 с.
6. *Быстров, А.С.* Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды/ А. С. Быстров. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.
7. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / В.А.Баженов, И.Я.Булгаков, В.Ф.Василенко и др. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
8. *Девясилов, В. А.* Охрана труда: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования/ В. А. Девясилов – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. – 400 с.: ил. – (Серия «Профессиональное образование»).
9. *Королев, В. А.* Мониторинг геологической среды: учебник / В.А. Королев; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
10. *Лихачев, Н. Н.* Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н. Н. Лихачев – М.: Стройиздат, 1981. – С. 24 – 40.
11. *Лопанов, А. Н.* Рациональное природопользование и экологическая экспертиза: конспект лекций/ А. Н. Лопанов – Белгород: БТИСМ, 1993. – 96 с.

12. *Медоуз, Д. Л.* Системное поведение «мания» – структура и загрязнение окружающей среды /Д. Л. Медоуз// Зеленый мир. – 1992. – № 11, 12. – С. 8 – 10.

13. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД – 86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.

14. Методические указания по определению эколого-экономической эффективности технологических процессов и производств в дипломных проектах и работах. – М.: МХТИ, 1985. – 48 с.

15. *Налимов, В.В.* Теория эксперимента/В. В. Налимов – М.: Наука, 1971. – 284 с.

16. *Новиков, Г.В.* Санитарная охрана окружающей среды современного города / Г. В. Новиков, А. Я. Дударев. – Л.: Медицина, 1978. – 216 с.

17. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений. – М., 1988. – 64 с.

18. *Тарасова, Н.П.* Экология: глобальные проблемы современности/Н. П. Тарасова //Зеленый мир. – 1992. – № 9, 10. – С. 8 – 9.