

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**

Институт Машиностроения и автомобильного транспорта  
Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

**НОКСОЛОГИЯ**

Курс лекций

Составитель:  
Худякова Е.О.

Владимир - 2016 г.

Каждая наука – дитя нужды.  
Она выполняет социальный заказ,  
а затем приобретает учение.  
Н.Ф.Реймерс

Изучив материалы этой главы, студент должен:

- *знать*: основные принципы ноксологии, основы взаимодействия в системе «человек – среда обитания» (закон Куражковского, закон толерантности Шелфорда), критерии травмоопасности потоков, концепцию приемлемого риска;
- *уметь*: формулировать основные понятия ноксологии (среда обитания, опасность, источник опасности, безопасность объекта защиты, защита от опасности, риск, вредный фактор, травмоопасный фактор, чрезвычайная ситуация, авария, катастрофа), классифицировать опасности (по количественным и качественным показателям);
- *владеть*: навыком составления паспорта опасности.

С созданием техносферы, в которой в развитых странах мира проживает более 75% населения, человечество стало нести значительные людские потери от так называемых внешних причин. Только Россия в последнее время теряет около 250 тыс. человеческих жизней в год по причине принудительной смерти. Защита человека и окружающей среды от губительного влияния опасностей – главная задача новой области знаний – *ноксологии*.

#### 1.1. Принципы и понятия ноксологии

При создании любой новой области знания важнейшим шагом является формирование соответствующего понятийного аппарата. Не явилась исключением и ноксология. Согласно современным представлениям научные знания в ноксологии опираются на семь основных принципов.

**I принцип** – *существование внешних негативных воздействий*. На человека и природу постоянно воздействуют внешние по отношению к ним

системы. Вполне вероятно, что некоторые из них будут способны причинять ущерб здоровью человека или угрожать природе.

**II принцип – антропоцентризма:** «Человек есть высшая ценность, сохранение и продление жизни которого является целью его существования». Реализация этого принципа делает приоритетной деятельность, направленную на сохранение здоровья и жизни человека при воздействии на него внешних систем. К ней относятся также направления исследований, как идентификация опасностей и зон их действия, разработка и применение защитных средств, контроль их состояния и т.п.

**III принцип природоцентризма:** «Природа – лучшая форма среды обитания биоты, ее сохранение – необходимое условие существования жизни на земле». Реализация этого принципа означает, что защита природы является второй по важности задачей учения. При этом изучается негативное воздействие промышленных и бытовых отходов, техногенных аварий, селитебных и промышленных зон на региональные природные территории и акватории; анализируется воздействие опасных техногенных объектов на природу в межрегиональных, межконтинентальных и глобальных масштабах.

Деятельность по реализации второго и третьего принципов связана с идентификацией опасностей и зон их действия, возникающих при применении техники и технологий; с разработкой и применением экобиозных средств; с контролем качества их эксплуатации; с мониторингом опасностей в зоне пребывания людей и в природных зонах, испытывающих негативное влияние техносферы. В то же время такие направления исследования и практические разработки, как достижение высокой надежности технических систем и технологий, создание высокопрочных строительных конструкций и т.п., в ноксологии имеют прикладное значение, поскольку они реализуются авторами проектов технических объектов для достижения таких показателей, как допустимые отходы и допустимый техногенный риск.

**IV принцип возможности создания качественной техносферы:** «Создание человеком качественной техносферы принципиально возможно и достижимо при соблюдении в ней предельно допустимых уровней воздействия на человека и природу». Этот принцип указывает на возможность создания качественной техносферы и определяет пути достижения этой цели, основанные на знании допустимых внешних воздействий на человека и природу.

**V принцип выбора путей реализации безопасного техносферного пространства:** «Безопасное техносферное пространство создается за счет

снижения значимости опасностей и применения защитных мер». При защите от естественных опасностей воздействие на их источники невозможно, а защита от антропогенных опасностей достигается только за счет совершенствования источника опасностей и углубления знаний об опасностях.

**VI принцип отрицания абсолютной безопасности** гласит: «Абсолютная безопасность человека и целостность природы – недостижимы». Этот принцип справедлив, поскольку, во-первых, на Земле всегда существуют естественные опасности и процессы потребления ресурсов и захоронения отходов, во-вторых, неизбежны антропогенные опасности, в-третьих, практически неустранимы полностью и техногенные опасности. Отметим, что во второй половине XX в. в СССР были предприняты попытки нарушить этот принцип. Среди значительной части ученых и практиков в области безопасности труда и промышленной безопасности тогда был взят на вооружение лозунг: «От техники безопасности к безопасной технике», суть которого сводила решение всех проблем безопасности труда к созданию абсолютно надежных техники и технологий. Неправомерность такого подхода очевидна, поскольку:

- 1) абсолютно безопасной техники не существует. Любая техническая система обладает определенной надежностью и ее безопасность оценивается показателями техногенного риска;
- 2) техногенный риск полностью устранить нельзя, его можно лишь минимизировать;
- 3) на любой технический объект всегда оказывается внешнее воздействие, способное в отдельных случаях нарушить его работу;
- 4) в работе большинства технических систем принимает участие оператор, обладающий способностью принимать иногда ошибочные решения.

Что касается антропогенных опасностей, то их также можно лишь минимизировать. Приведем мнение бессменного министра МЧС России С.К.Шойгу: «... более 50% техногенных аварий происходит по причине так называемого человеческого фактора. В авиации – вообще 80%, и лишь 20% - это отказ техники, некачественное топливо и метеоусловия»<sup>1</sup>(Аргументы и факты. 2005, №51, с.6.)

**VII принцип** во многом соответствует принципу Ле-Шетелье: «Эволюция любой системы идет в направлении снижения потенциальной опасности» и гласит: «Рост знаний человека, совершенствование техники и технологии, применение защиты, ослабление социальной

напряженности в будущем неизбежно приведут к повышению защищенности человека и природы от опасностей».

Этот принцип указывает на позитивный вектор движения общества к решению проблем удовлетворения потребности человека в безопасности. Путь этот многовариантен и основан, прежде всего, на росте культуры общества в вопросах безопасности жизнедеятельности человека и защиты окружающей среды.

5

В ноэсологии помимо приведенных принципов используется ряд установившихся *понятий*. К главным понятиям, прежде всего, относится *совокупность систем «человек – техносфера» и «природа – техносфера»*. Они используются для описания процессов негативного взаимодействия человека (коллектива людей, населения города, региона, страны, планеты Земля, далее – человека) с окружающей его техносферой и для описания взаимодействия природы с техносферой.

В современном мире для человека характерны два полярных вида среды обитания – природная (биосфера) и техносфера (производственная, селитебная и бытовая). Для описания негативного влияния техносферы на природу используют совокупность систем «природа – техносфера».

Понятие «опасность» - свойство человека и окружающей среды, способность причинять ущерб живой и неживой материи. Опасности техносферы возникают при достижении ее внешними потоками вещества, энергии и (или) информации значений, превышающих способность к их восприятию любым объектом защиты без нарушения своей функциональной целостности, т.е. без причинения ущерба.

Применительно к БЖД термин «опасность» можно сформулировать в следующем виде: «Опасность – негативное свойство систем материального мира, приводящее человека к потере здоровья или к гибели».

Применительно к ЗОС термин «опасность» можно определить так: «Опасность – негативное свойство систем материального мира, приводящее природу к деградации и разрушению».

В определении понятия «опасность» формально отсутствует указание на необходимость совпадения координат и времени передачи опасных потоков от источника к объекту защиты. Но этого и не требуется, так как опасен весь материальный мир, окружающий человека,

сообщества людей и т.п. Иными словами, вероятность проявления опасности по отношению к другим материальным объектам существует всегда и везде.

Понятие «источник опасности» - это компоненты биосферы и техносферы, космическое пространство, социальные и иные системы, из которых приходит опасность. Для каждого источника опасности характерно наличие уровня, зоны и продолжительности действия опасности. Для описания источника опасности с позиций его негативного влияния на человека и природу используют величину материальных отходов (выбросов, сбросов и отбросов), интенсивность энергетических излучений и его вероятность воздействия (риск).

Понятие «безопасность объекта защиты» - состояние объекта защиты, при котором внешнее воздействие на него потоков вещества, энергии и информации из окружающей среды не превышает максимально допустимых для объекта значений.

Понятие «защита от опасностей» - способы и методы снижения уровня и продолжительности действия опасностей на человека и природу. Принципиально защиту объекта от опасностей реализуют снижением негативного влияния источников опасности (сокращением значения риска и размеров опасных зон), его выведением из опасной зоны; применением экобиозащитной техники и средств индивидуальной защиты.

Ряд понятий («техносфера», «жизнедеятельность», «среда обитания», «объект защиты», «безопасность жизнедеятельности», «защита окружающей среды», «культура безопасности») уже рассмотрены во введении к данному учебному пособию. Другие понятия и термины, используемые в нокологии, будут представлены ниже.

## **1.2. Опасность, условия ее возникновения и реализации**

Опасность – центральное понятие в нокологии – интуитивно понимается всеми, но для достижения состояния безопасности объекта защиты необходимо владеть комплексом логических представлений о ней. Во-первых, следует понять, что опасности появились одновременно с возникновением материи и будут существовать вечно. Во-вторых, опасности как таковые представляют собой недопустимые для восприятия материальным объектом потоки вещества, энергии и информации.

В принципе обмен потоками в материальном мире – это естественный процесс существования материи. Закон сохранения жизни, сформулированный Ю.Н.Куражковским, гласит: «Жизнь может существовать только в процессе движения через живое тело потоков характерно и обязательно для существования через живое тело потоков вещества, энергии и информации». Наличие таких потоков характерно и обязательно для существования материи. Основные виды и типы таких потоков приведены ниже.

Потоки в естественной среде:

- солнечное излучение, излучение звезд и планет;
- космические лучи, пыль, астероиды;
- электрическое и магнитное поля Земли;
- круговороты веществ в биосфере в экосистемах, в биогеоценозах;
- потоки, связанные с атмосферными, гидросферными и литосферными явлениями, в том числе и со стихийными;
- другие.

Потоки в техносфере:

- потоки сырья, энергии;
- потоки продукции отраслей экономики;
- отходы экономики;
- информационные потоки;
- транспортные потоки;
- световые потоки (искусственное освещение);
- потоки при техногенных авариях;
- другие.

Потоки в социальной среде:

- информационные потоки (обучение, государственное управление, международное сотрудничество и т.п.);
- людские потоки (миграции, демографические процессы);
- другие.

Потоки, потребляемые и выделяемые человеком в процессе жизнедеятельности:

- потоки кислорода, воды, пищи и иных веществ (в том числе алкоголь, табак, наркотики и т.п.);
- потоки энергии (механической, тепловой, солнечной и др.);
- информационные потоки;

- отходы процесса жизнедеятельности;
- другие.

При оценке влияния потоков необходимо знать, что:

- 1) действия потоков и систем часто тесно переплетены, т.е. действует принцип «все воздействует на все»;
- 2) в ряде случаев поток, столь необходимые для существования жизни, могут превысить <sup>2.4. Техногенные опасности</sup> допустимые для воспринимающего их элемента материи уровни и тем самым вызвать в нем необходимые процессы (разрушение, гибель и т.п.). Такие ситуации опасны. Поэтому если потоки не приносят ущерба воспринимающей их материи, то идет естественный процесс и такие потоки принято называть *допустимыми*. Если потоки наносят ущерб, то их называют *недопустимыми* или *опасными*;
- 3) максимальные значения потоков, при которых ущерб еще не возникает, называют *предельно допустимыми*. Общепринято широкое использование таких понятий, как: ПДК – предельно допустимая концентрация веществ; ПДУ – предельно допустимые уровни энергетического воздействия; ПДВ – предельно допустимые выбросы в атмосферу и т.д.;
- 4) возникновение опасной ситуации при наличии потоков от источника опасности определяется не только величиной потока, но и свойствами объекта защиты, его способность воспринимать и переносить воздействующие потоки;
- 5) опасности реализуются лишь при взаимодействии источника опасности, генерирующего потока воздействия и элемента материи (объекта защиты), воспринимающего этот поток. Опасности проявляют себя только во взаимодействии систем «источник опасности – объект защиты». Отсутствие одной из названных систем теоретически вообще исключает вопрос о защите от опасностей.

Таким образом, для возникновения и реализации опасности необходимо соблюдение следующих условий:

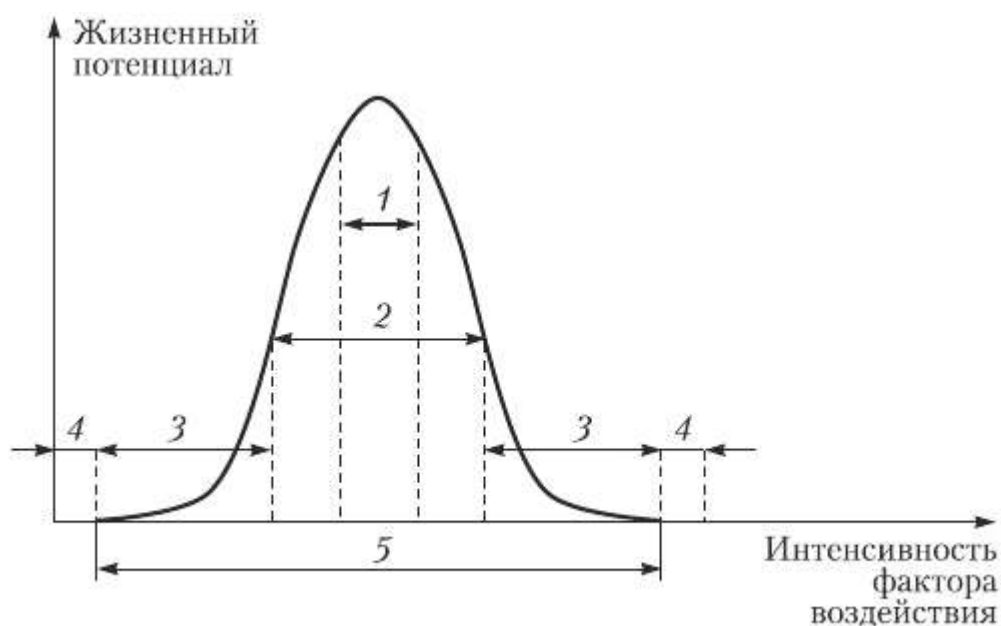
- наличие совокупности систем «источник воздействия – объект защиты» и их совпадение по месту и по времени пребывания в жизненном пространстве;
- наличие источника опасности, способного создавать значимые потоки вещества, энергии или информации;
- наличие у защищаемого объекта ограничений по величине воздействия потоков.



### 1.3. Закон толерантности.

#### Опасные и чрезвычайно опасные воздействия

Толерантность – способность организма переносить неблагоприятное влияние того или иного фактора среды. Американский зоолог В. Шелфорд в начале XXв. Сформулировал закон толерантности: «Лимитирующим фактором процветания популяции (организма) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, а диапазон между ними определяет величину выносливости (предел толерантности) организма к заданному фактору» (рис.1.1).



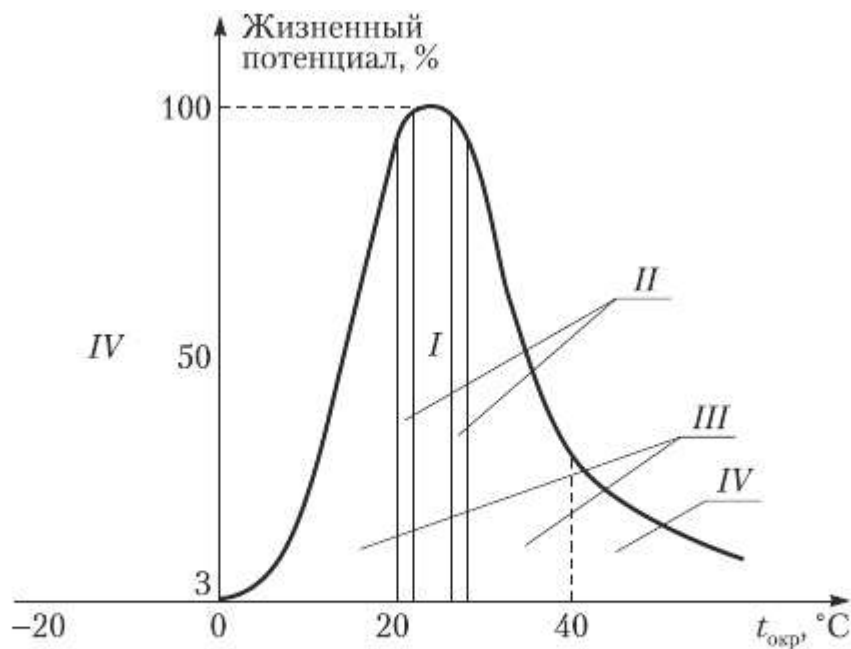
**Рис.1.1. Зависимость жизненного потенциала от интенсивности фактора воздействия:**

1-Зона оптимума (комфорта); 2 – зона допустимой жизнедеятельности; 3 – зона угнетения; 4 – зона гибели; 5 – зона жизни

Зона оптимума с точкой комфорта (точка максимума жизненного потенциала) и зоны допустимых значений фактора воздействия являются областью нормальной жизнедеятельности, а зоны с большими отклонениями фактора от оптимума называются зонами угнетения. Пределы толерантности по фактору воздействия совпадают со значениями минимума и максимума фактора, за пределами которых существования организма невозможно (это – зона гибели).

Проиллюстрируем сказанное на примере. В естественных условиях на поверхности Земли температура атмосферного воздуха изменяется от  $-88$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ , в то время как температура внутренних органов человека за счет терморегуляции его организма сохраняется комфортной, близкой к  $37^{\circ}\text{C}$ . Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, -  $+43$ , минимальная -  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Температура воздуха в рабочих и жилых помещениях, на улицах и в природных условиях существенно влияет на состояние организма человека, изменяя его жизненный потенциал. Установлено, что у человека существует зависимость комфортных температур окружающей среды от категории тяжести выполняемых работ (легкая, средняя, тяжелая), от периода года и некоторых других параметров микроклимата. Так, для человека, выполняющего легкую работу, комфортная температура (зона I на рис 1.2) летом составляет  $23-25^{\circ}\text{C}$ , зимой -  $22-24^{\circ}\text{C}$ ; для человека, занимающегося тяжелым физическим трудом, летом -  $18-20^{\circ}\text{C}$ , зимой  $16-18^{\circ}\text{C}$ . На рис. 1.2. показана зависимость жизненного потенциала человека от изменения температуры окружающего его воздуха при длительном выполнении легких работ.



**Рис. 1.2. Зависимость жизненного потенциала человека от температуры окружающего воздуха при длительном выполнении легких работ:**

*I* – зона комфорта,  $t_{\text{окр}}=21-23^{\circ}\text{C}$ ; *II* – зона допустимых температур,  $t_{\text{окр}}>17^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{окр}}<26^{\circ}\text{C}$ ; *III* – опасная зона,  $t_{\text{окр}}$  от 26 до  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{окр}}<17^{\circ}\text{C}$ ; *IV* – зона чрезвычайной опасности,  $t_{\text{окр}}>40^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{окр}}<0^{\circ}\text{C}$

Отклонения температуры среды от комфортных значений на  $\pm 2-5^{\circ}\text{C}$  (зона II) считаются допустимыми, поскольку не оказывают влияния на здоровье человека, а лишь уменьшают производительность его деятельности.

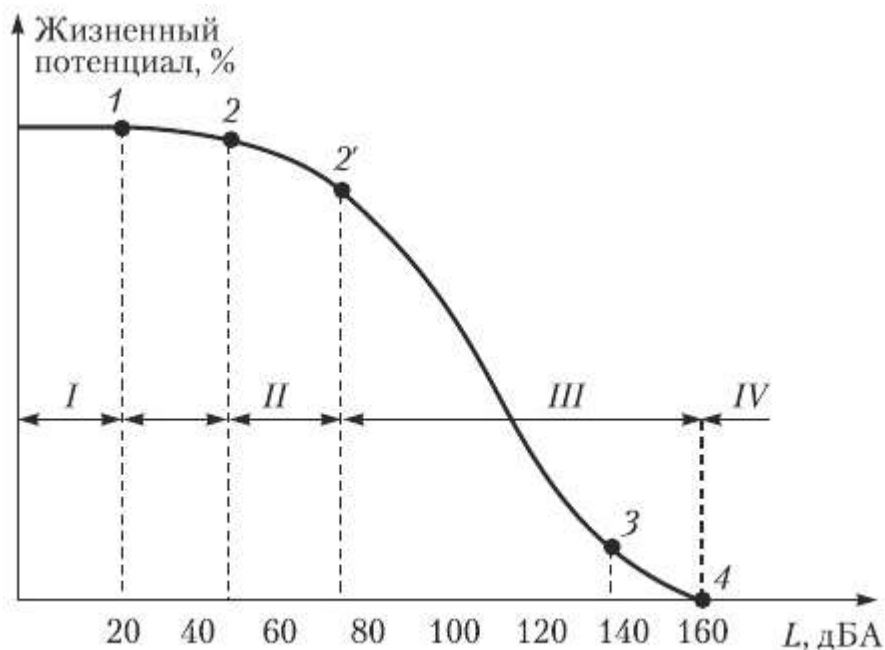
Дальнейшие отклонения температуры окружающего воздуха от допустимых значений (зона III) сопровождаются тяжелыми воздействиями на организм человека и ухудшением его здоровья (нарушением дыхания, сердечной деятельности и др.).

11

При еще больших отклонениях температур окружающего воздуха от допустимых значений (зона IV) возможен перегрев (гипертермия) или переохлаждение (гипотермия) организма человека, а также получение им тепловых или холодовых травм. Необходимо отметить, что классическая кривая Шелфорда имеет отношение только к природным факторам воздействия (в нашем примере это температура окружающей среды). Факторы, полностью чуждые организму, могут иметь зону комфортности вблизи нуля интенсивности и только один максимальный предел воздействия. Это хорошо иллюстрирует процесс влияния акустических колебаний на организм человека.

Реальные уровни звука в местах возможного пребывания человека могут изменяться в весьма широких пределах от 0 до 160 дБА и сопровождаются широкой гаммой ответных реакций организма человека (рис. 1.3).

При уровнях звука до 20 дБА человек чувствует себя комфортно (точка 1), не реагируя негативно на наличие звуков в окружающей его среде; уровни звука до 50 дБА (точка 2) не влияют на здоровье человека, занимающегося интеллектуальной деятельностью, а у людей, связанных с физическим трудом, верхняя граница может быть расширена до 80 дБА (точка 2'). Эти значения уровня звука (точки 2 и 2') соответствуют предельно допустимым условиям воздействия звука на человека в процессе его деятельности.



**Рис. 1.3. Зависимость жизненного потенциала человека от воздействия на него акустических колебаний:**

*I* – зона комфорта; *II* – зона допустимых воздействий; *III* – опасная зона; *IV* – зона чрезвычайной опасности

Дальнейший рост уровня звука свыше 80 дБА при длительных его экспозициях (до нескольких лет) может приводить к тугоухости, при этом с дальнейшим увеличением уровня звука вероятность возникновения тугоухости растет, а при уровнях звука 140 дБА (точка 3) и выше возможно травмирование человека из-за разрыва барабанных перепонок или контузии. При уровнях 160 дБА (точка 4) может наступить смерть человека.

Из рассмотренного примера следует, что изменяя потоки в среде обитания, можно получить ряд характерных видов воздействия потоков на человека, а именно:

- 1) *комфортное* (оптимальное), когда потоки соответствуют оптимальным условиям воздействия: создают оптимальные условия деятельности и отдыха; предпосылки для проявления наивысшей работоспособности и, как следствие, максимальной продуктивности деятельности; гарантируют сохранение здоровья человека и целостности компонент среды обитания;
- 2) *допустимое*, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека. Соблюдение условий допустимого воздействия гарантирует

невозможность возникновения и развития необратимых негативных процессов у человека и в среде обитания;

- 3) *опасное*, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном воздействии заболевания, и (или) приводя к деградации среды обитания;
- 4) *чрезвычайно опасное*, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать разрушения в среде обитания. Гибель организма происходит при значениях фактора воздействия, лежащих вне зоны толерантности, ее можно рассматривать как процесс распада организма на простые системы.

На основании вышеизложенного можно сформулировать **аксиому о воздействии среды обитания на человека**: воздействие среды обитания на человека может быть позитивным или негативным, характер воздействия определяют параметры потоков веществ, энергий и информации.

Отметим, что применительно к любому живому телу аксиома о воздействии среды обитания на тело звучит следующим образом: воздействие среды обитания на живое тело может быть позитивным или негативным, характер воздействия определяют параметры потоков и способность живого тела воспринимать эти потоки.

Из четырех характерных видов воздействия среды обитания на человека первые два (комфортное и допустимое) соответствуют позитивным условиям повседневной жизнедеятельности, а два других (опасное и чрезвычайно опасное) являются недопустимыми для процессов жизнедеятельности человека.

При анализе процесса воздействия опасностей следует учитывать аксиому об одновременном воздействии опасностей и наличие совокупного воздействия опасностей на объект защиты.

**Аксиома об одновременном воздействии опасностей**: потоки вещества, энергии и информации, генерируемые их источниками, не обладают избирательностью по отношению к объектам защиты и одновременно воздействуют на человека, природную среду и техносферу, находящихся в зоне их влияния.

Из этой аксиомы следует, например, что вибрация любого здания одновременно воздействует на людей, строительные материалы и конструкции, на коммуникации и устройства, находящиеся в нем. Результат воздействия вибрации одной интенсивности на все находящиеся в здании

объекты может быть различным (опасным или неопасным) и полностью определяется способностью объекта защиты (человек, материалы, коммуникации и т.п.) к восприятию возникшей в этом здании вибрации.

При оценке воздействия опасностей на объект защиты необходимо также учитывать, что любой объект воспринимает одновременно все потоки вещества, энергии и информации, поступающие в зону его пребывания в соответствии с **аксиомой о совокупном воздействии опасностей**: на любой объект защиты одновременно воздействуют все потоки, поступающие извне в зону его пребывания.

Для современного состояния совокупности системы «человек – техносфера» характерны два вида негативных ситуаций, связанных с воздействием опасностей на человека:

- 1) длительное воздействие постоянных или переменных опасностей ограниченной интенсивности в локальных, региональных и глобальных зонах. Сюда относятся ситуации, связанные с длительным действием опасностей на производстве, в быту и в городе, а также действия глобальных опасностей (потепление климата, разрушение озонового слоя, кислотные дожди, повышение радиоактивного фона атмосферы);
- 2) кратковременные воздействия импульсных опасностей высокой интенсивности в локальных (максимум – в региональных) зонах. Сюда относятся ситуации, связанные с техногенными авариями, катастрофами и стихийными бедствиями.

#### **1.4. Качественная классификация (таксономия) опасностей**

Качественную классификацию опасностей целесообразно вести по двухуровневой схеме, сведя в первую группу (I уровень) классификации признаки опасности: их происхождение, параметры и зоны воздействия, а именно:

- происхождение источника опасностей;
- вид потока, образующего опасность;
- интенсивность (уровень) воздействия опасности;
- длительность воздействия опасности на объект защиты;
- вид зоны воздействия опасностей;
- размеры зон воздействия опасности;
- степень завершенности процесса воздействия опасности на объект защиты.

Во вторую группу (II уровень) классификации опасностей целесообразно свести признаки, связанные со свойствами объекта защиты, а именно:

- способность объекта защиты различать опасности;
- вид влияния негативного воздействия опасности на объект защиты;
- численность лиц, подверженных воздействию опасности.

По *происхождению* опасности среды обитания следовало бы разделить на естественные и антропогенные, полагая при этом, что *естественные опасности* обусловлены климатическими и иными природными явлениями и что возникают они при изменении погодных условий и естественной освещенности в биосфере, а также при стихийных явлениях, происходящих в биосфере (наводнения, землетрясения и т.д.).

Все остальные опасности следовало бы назвать *антропогенными*, поскольку человек непрерывно воздействует на среду обитания продуктами своей деятельности (техническими средствами, выбросами различных производств и т.п.), генерируя тем самым в среде обитания многочисленные опасности. При этом под антропогенными опасностями следует понимать опасности, которые возникают в результате ошибочных или несанкционированных действий человека или группы людей.

В принципе все опасности, происходящие от машин и технологий, по своей сути антропогенны, поскольку их творцом считается человек, однако, учитывая их многообразие, значимость и, как правило, обезличенность по отношению к их создателю, эти опасности в современном представлении выделяют в отдельную группу – группу *техногенных* опасностей.

Техногенные опасности создают элементы техносферы – машины, сооружения и вещества. Перечень техногенных реально действующих опасностей значителен и насчитывает более 100 видов. К распространенным и обладающим достаточно высокими уровнями относятся производственные опасности: запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, повышенные или пониженные параметры атмосферного воздуха в помещениях (температура, влажность, подвижность, давление), недостаточное и неправильно организованное искусственное освещение, монотонность деятельности, тяжелый физический труд, электрический ток, падающие предметы, высота, движущиеся машин и механизмов, части разрушающихся конструкций и др.

В быту и в городских условиях человека также сопровождает целая гамма техногенных негативных факторов. К ним относятся: воздух, загрязненный

продуктами сгорания природного газа, выбросами ТЭС, промышленных предприятий, автотранспорта и мусоросжигающих заводов; вода и избыточным содержанием вредных примесей; недоброкачественная пища; шум, инфразвук, вибрация; электромагнитные поля от бытовых приборов, телевизоров, дисплеев, ЛЭП, радиорелейных устройств; ионизирующие излучения при различных медицинских обследованиях, фон от строительных материалов и др.

Таким образом, по происхождению все опасности принято делить на естественные, антропогенные и техногенные, при этом считают, что естественные опасности создаются природой, а техногенные и антропогенные опасности – рукотворны.

Более внимательное изучение происхождения опасностей позволяет выделить еще две группы опасностей: естественно-техногенные и антропогенно-техногенные. К естественно-техногенным опасностям следует отнести те, которые инициируются естественными процессами (землетрясения, ветры, дожди и т.п.), приводят к разрушению технических объектов (зданий, плотин, дорог и т.п.) и сопровождаются потерей здоровья и жизни людей или разрушениям элементов окружающей среды.

К антропогенно-техногенным опасностям относят такие опасности, которые инициируются вследствие ошибок человека (обычно оператора технической системы) и проявляются через несанкционированное действие или разрушение техники или сооружений (аварии на транспорте по вине водителей, пожары и взрывы из-за неправильного обращения с огнем, с электрооборудованием и т.п.).

Таким образом, по происхождению все опасности следует делить на пять групп:

- 1) естественные;
- 2) естественно-техногенные;
- 3) антропогенные;
- 4) антропогенно-техногенные;
- 5) техногенные.

Как уже было сказано выше, все жизненные потоки по их физической природе (вид потока) делятся на массовые, энергетические и информационные, следовательно, и возникающие при этом опасности следует воспринимать как *массовые, энергетические и информационные*.



Массовые опасности возникают при перемещении воздуха (торнадо, ураганы и т.п.) воды и снега (ливни, лавины, штормы, цунами), грунта и других видов земной массы (землетрясения, пыльные бури, оползни и камнепады, извержения вулканов и т.п.). Массовые опасности характеризуются количеством и скоростью перемещения масс различных веществ.

Массовые опасности возникают также при поступлении в элементы биосферы (воздух, вода, земля) различных ингредиентов. В этом случае уровень опасности зависит от концентрации ингредиентов в единице объема или массы элемента биосферы. Концентрация ингредиентов измеряется в  $\text{мг/м}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ,  $\text{мг/кг}$ .

Энергетические опасности связаны с наличием в жизненном пространстве различных полей (акустических, магнитных, электрических и т.п.) и излучений (лазерное, ионизирующее и др.), которые обычно характеризуются интенсивностью полей и мощностью излучений.

Информационные опасности возникают при поступлении к человеку (обычно к оператору технических систем), избыточной или ошибочной информации, определяемой в бит/с.

Все опасности *по интенсивности воздействия* разделяют на опасные и чрезвычайно опасные.

Опасные потоки обычно превышают предельно допустимые потоки не более чем в разы. Например, если говорят, что концентрация  $i$ -го газа в атмосферном воздухе составляет  $\leq 10$  ПДК, то подразумевают, что это опасная ситуация, угрожающая человеку потерей здоровья, поскольку находится в зоне его толерантности.

В тех случаях, когда уровни потоков воздействия выше границ толерантности, ситуацию считают чрезвычайно опасной. Обычно она характерна для аварийных ситуаций или зон стихийного бедствия. В этих случаях концентрация примесей или уровни излучений на несколько порядков превышают ПДК или ПДУ и угрожают человеку летальным исходом.

По *длительности воздействия* опасности классифицируют на *постоянные*, *переменные* (в том числе *периодические*) и *импульсные*. Постоянные (действуют в течение рабочего дня, суток) опасности, как правило, связаны с условиями пребывания человека в производственных или бытовых помещениях, с его нахождением в городской среде или в промышленной зоне. Переменные опасности характерны для условий реализации циклических процессов: шум в зоне аэропорта или около транспортной магистрали;

вибрация от средств транспорта и т.п. Импульсное или кратковременное воздействие опасности характерно для аварийных ситуаций, а также при залповых выбросах, например при запуске ракет. Многие стихийные явления, например гроза, сход лавины и т.п., также относятся к этой категории опасностей.

По *виду зоны воздействия (по месту воздействия)* опасности делят на *производственные, бытовые и природные*, а также на *зоны ЧС*.

По *размерам зоны воздействия* опасности классифицируют на *локальные, региональные, межрегиональные и глобальные*.

Как правило, бытовые и производственные опасности являются локальными, ограниченными размерами помещения, а такие воздействия, как потепление климата (парниковый эффект) или разрушение озонового слоя Земли, являются глобальными.

Опасности иногда воздействуют одновременно на территории и население двух и более сопредельных государств. В этом случае опасные зоны и опасности становятся межнациональными, а поскольку источники опасности, как правило, расположены только на территории одного из государств, то возникают ситуации, приводящие к трудностям ликвидации последствий этих воздействий.

По *степени завершенности процесса воздействия на объекты защиты* опасности разделяют на *потенциальные, реальные и реализованные*.

Потенциальная опасность представляет угрозу общего характера, не связанную с пространством и временем воздействия. Например, в выражениях «шум вреден для человека», «углеводородные топлива – пожаровзрывоопасны» говорится только о потенциальной опасности для человека шума и горючих веществ.

Наличие потенциальных опасностей находит свое отражение в утверждении, что «жизнедеятельность человека потенциально опасна».

Реальная опасность всегда связана с конкретной угрозой негативного воздействия на объект защиты (человека, природу). Она всегда координирована в пространстве и во времени. Например, движущаяся по шоссе автоцистерна с надписью «огнеопасно» представляет собой реальную опасность для человека, находящегося около автодороги. Как только автоцистерна ушла из зоны пребывания человека, она превратилась в источник потенциальной опасности по отношению к этому человеку.

Реализованная опасность – факт воздействия реальной опасности на человека и (или) среду обитания, приведший к потере здоровья или летальному исходу человека, к материальным потерям, разрушению природы. Если взрыв автоцистерны привел к ее разрушению, гибели людей и (или) возгоранию строений, то это реализованная опасность.

Ситуации, в которых опасности реализуются, принято разделять на происшествия и чрезвычайные происшествия, а последние – на аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

**Происшествие** – событие, состоящее из негативного воздействия с причинением ущерба людским, природным и (или) материальным ресурсам.

**Чрезвычайное происшествие (ЧП)** – событие, происходящее обычно кратковременно и обладающее высоким уровнем негативного воздействия на людей, природные и материальные ресурсы. К ЧП относятся крупные аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

**Авария** – чрезвычайное происшествие в технической системе, не сопровождающееся гибелью людей, при котором восстановление технических средств невозможно или экономически нецелесообразно (в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами авария – это разрушение сооружений и (или) технических устройств, неконтролируемые взрывы и (или) выбросы опасных веществ).

**Катастрофа** – чрезвычайное происшествие в технической системе, сопровождающееся гибелью людей.

**Стихийное бедствие** – чрезвычайное происшествие, связанное со стихийными явлениями на Земле и приведшее к разрушению биосферы, техносферы, к гибели или потере здоровья людей.

**Чрезвычайная ситуация (ЧС)** – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Объект защиты, как правило, обладает избирательной способностью к идентификации опасностей органами чувств. Ряд опасных воздействий (вибрация, шум, нагрев, охлаждение и т.д.) человек идентифицирует с помощью органов чувств. Некоторые опасные воздействия, такие как инфразвук, ультразвук, электромагнитные поля и излучения, радиация, не

идентифицируются человеком. Все опасности по способности объекта защиты выявлять их органами чувств можно классифицировать на различаемые и неразличаемые.

По виду негативного воздействия опасностей на объект защиты их принято делить на вредные (угнетающие) и травмоопасные (разрушающие) факторы.

Вредный фактор – негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению самочувствия или заболеванию.

Травмирующий (травмоопасный) фактор – негативное воздействие на человека, которое приводит к травме или летальному исходу.

Термины «угнетающие» и «разрушающие» применяют для оценки воздействия опасностей на природу. Для техносферы используют термин «разрушающие».

По численности лиц, подверженных воздействию опасности, принято выделять индивидуальные, групповые и массовые.

Классификация опасностей по признакам, характеризующим их свойства (I группа) и воздействие на объект защиты (II группа), приведена в табл.1.1.

Классификация опасностей позволяет для каждого конкретного случая подробно описать негативное событие и составить «паспорт» опасности, например:

- транспортный шум имеет техногенное происхождение в виде потока энергии с опасной интенсивностью в зонах города или на транспортных магистралях и представляет реальную опасность для людей. Шум – это различимая органами слуха опасность, имеющая главным образом вредное действие на человека и группы людей. На природные и техногенные объекты существенного влияния не оказывает;
- акустическое воздействие взрыва, орудийного выстрела или пуска ракеты имеет техногенное происхождение в виде потока энергии чрезвычайно высокой интенсивности и кратковременного (импульсного) воздействия, реализуемого в локальных зонах. Оценивая взрыв по влиянию на объект защиты, его следует отнести к различаемым и травмоопасным воздействиям, способным оказывать воздействия от индивидуального до группового.

Таблица 1.1

## Классификация опасностей

Группа и признаки классификации	Вид (класс)
<i>I группа. Свойства опасностей</i>	
По происхождению	Естественные Естественно-техногенные Антропогенные Антропогенно-техногенные Техногенные <sup>21</sup>
По физической природе потоков	Опасные Чрезвычайно опасные
По интенсивности потоков	Опасные Чрезвычайно опасные
По длительности воздействия	Постоянные Переменные, периодические Импульсные, кратковременные
По виду зоны воздействия	Производственные Бытовые Городские (селитебные) Зоны ЧС
По размерам зоны воздействия	Локальные (местные) Региональные Межрегиональные Глобальные
По степени завершенности процесса воздействия	Потенциальные Реальные Реализованные
<i>II группа. Свойства объекта защиты</i>	
По способности различать (идентифицировать) опасности	Различаемые Неразличаемые
По виду негативного влияния опасности	Вредные Травмоопасные
По численности лиц, подверженных опасному воздействию	Индивидуальные (личные) Групповые (коллективные) Массовые

Паспорт опасности можно представить и в табличной форме (табл. 1.2-1.4).

Паспорт опасности необходим для правильной оценки ее негативного влияния на людей и окружающую среду, а так же для выбора защитных мер, необходимых для устранения или локализации воздействия опасности. Работа по таксономии опасностей ведется давно. Так, в рамках производственной среды существует классификатор национального стандарта ГОСТ 12.0.003-74, в рамках окружающей среды – ГОСТ 14.03-2005.

Таблица 1.2

**Паспорт опасности грозового разряда в атмосфере**

Признак	Вид опасности
Происхождение	Естественное
Вид потока	Энергетический
Интенсивность потока	Чрезвычайно опасная
Длительность воздействия	Кратковременная
Зона воздействия	Городская и природная
Размеры зоны воздействия	Локальная
Степень завершенности воздействия	Реальная при грозе и реализованная попаданием молнии в объект защиты
Степень идентификации человека	Различаемая
Степень опасности	Травмоопасная
Масштаб (численность) воздействия	Индивидуальный, редко групповой

Таблица 1.3

**Паспорт опасности сброса жидких отходов  
гальванического цеха (участка)**

Признак	Вид опасности
Происхождение	Техногенное
Вид потока	Массовый
Интенсивность потока	Опасная
Длительность воздействия	Постоянная или периодическая
Зона воздействия	Городские и природные водоемы
Размеры зоны воздействия	Локальная и региональная
Степень завершенности воздействия	Реализуемая
Степень идентификации человека	Различаемая
Степень опасности	Вредное для человека и природы
Масштаб (численность) воздействия	Групповой

Таблица 1.4

**Паспорт опасности ЛЭП**

Признак	Вид опасности
Происхождение	Техногенное
Вид потока	Энергетический
Интенсивность потока	Опасная
Длительность воздействия	Постоянная
Зона воздействия	Городская, производственная,

	природная
Размеры зоны воздействия	Локальная
Степень завершенности воздействия	Реальная
Степень идентификации человека	Неразличимая
Степень опасности	Вредная
Масштаб (численность) воздействия	Индивидуальный

## 1.5. Количественная оценка и нормирование опасностей <sup>23</sup>

2.4. Техногенные опасности

Для количественной оценки (квантификации) опасностей жизненных потоков используют критерии допустимого вредного воздействия потоков (веществ, энергии, информации) и критерии допустимой травмоопасности потоков.

**Критерии допустимого вредного воздействия потоков.** В любой точке жизненного пространства с координатами  $x, y, z$  массовые, энергетические и информационные потоки могут оказывать воздействие  $\Pi$ . В общем виде это воздействие на объект (человек, природа) определяется его интенсивностью  $I$  и длительностью экспозиции  $\tau$ :

$$\Pi(x, y, z) = f(I, \tau).$$

Интенсивность потока определяется по формулам:

- для вещества:

$$I_{\text{в}} = \frac{G}{(F\tau)} \text{ г}/(\text{м}^2\text{с});$$

- для энергии:

$$I_{\text{э}} = \frac{Q}{F\tau}, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{с}} \text{ или } \text{Вт}/\text{м}^2;$$

- для информации:

$$I_{\text{и}} = \frac{I}{\tau}, \frac{\text{бит}}{\text{с}},$$

где  $G$  – масса вещества, г;  $F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{м}^2$ ;  $Q$  – количество энергии, в потоке, Дж;  $I$  – количество информации в двоичных знаках.

Основное условие допустимости воздействия потоков в зоне пребывания человека имеет вид

$$P \leq \text{ПДП},$$

где  $P$  – реальный показатель потока; ПДП – предельно допустимое значение потока.

Потоки энергии и информации воздействуют на объект защиты непосредственно, поэтому их влияния оценивают величинами  $I_э$  и  $I_u$ .

При воздействии потоков энергии условие допустимости принимает вид

$$I_i = \text{ПДУ}_i,$$

где  $I_i$  – интенсивность  $i$ -го потока энергии в жизненном пространстве;  $\text{ПДУ}_i$  – предельно допустимый уровень интенсивности  $i$ -го потока энергии.

Потоки веществ практически всегда воздействуют на человека через изменение концентрации этих веществ в жизненном пространстве. Допустимое количество  $i$ -го вещества  $G_i$ , которое можно ввести, например, в объем  $V$  помещения при условии отсутствия в нем недопустимого загрязнения  $i$ -м веществом, определяют по формуле

$$G_i \leq (\text{ПДК}_i - C_{\phi i})V,$$

где  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в помещении;  $C_{\phi i}$  – фоновое (начальное) загрязнение помещения  $i$ -м веществом.

Зоны пребывания человека в рабочей и бытовой средах считаются допустимыми, если в них соблюдены нормативные требования по параметрам микроклимата, освещению, предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимым интенсивностям энергетического облучения.

При химическом загрязнении предельным уровнем является ПДК вредного вещества. ПДК устанавливают отдельно для рабочей зоны и для населенной местности. Последний норматив всегда меньше ПДК рабочей зоны. Такое различие можно объяснить тремя обстоятельствами: во-первых, в рабочей зоне заняты люди физически и профессионально более подготовленные, чем, например, дети и пожилые люди; во-вторых, вредные факторы обычно формируются в рабочей зоне и ослабляются с расстоянием при переходе в окружающую среду, поэтому объективно их содержание можно снизить в зонах вне производства; в-третьих, действие факторов на людей в рабочей зоне продолжается только в течение рабочей смены, а в окружающей среде – круглосуточно, поэтому суммарные дозы вредного воздействия в окружающей среде также могут быть значительными. Аналогичная схема



двойного нормирования применяется и для оценки энергетических воздействий.

Рассмотрим некоторые примеры нормирования допустимых воздействий на человека. Для реализации допустимых условий деятельности нормативами по параметрам микроклимата установлены значения температуры воздуха в помещении, его влажности и подвижности (табл. 1.5). В случае аномальных климатических условий (например, жары) уместно говорить об ограничении времени пребывания работников на рабочих местах при превышении предельно допустимых температур в рабочий день (смену).

В качестве критериев освещения установлены нормативные требования к естественному и искусственному освещению помещений (табл.1.6).

Применительно к загрязнению компонентов среды обитания различными веществами условие допустимости воздействия имеет вид

$$C_i \leq \text{ПДК}_i,$$

Таблица 1.5

**Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96**

Период работы	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона	для диапазона
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб(233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4

	III(более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15 - 75	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,-21,9 2.4. Техногенные опасности	24,1-28,0	19,0-29,0 26	15 - 75	0,1	0,3
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15 - 75	0,1	0,4
	IIб(233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15 - 75	0,2	0,5
	III(более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15 - 75	0,2	0,5

Таблица 1.6

### Нормы освещенности для жилых помещений

#### По СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 (извлечение)

Помещение жилого здания	КЕО* при боковом освещении, %	Рекомендуемая освещенность рабочих поверхностей при искусственном освещении, $E_{min}$ , лк
Жилые комнаты, гостиные, спальни	0,5	150
Кухни, кухни-столовые	0,5	150
Детские	0,5	200
Кабинеты	1,0	300
Внутриквартирные коридоры, холлы	-	50
Ванные комнаты, санузлы	-	50

\*КЕО – коэффициент естественной освещенности.

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в жизненном пространстве; ПДК $_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в этом пространстве.

*Нормирование химического загрязнения атмосферы.* В воздухе рабочей зоны содержание вредных веществ (ПДК<sub>р.з.</sub>) не должно превышать концентраций, установленных ГОСТ 12.1.005 – 88 и другими нормативами. На территории промышленных объектов допустимое содержание вредных веществ не должно превышать 0,3 ПДК<sub>р.з.</sub>.

Для оценки качества атмосферного воздуха в населенных пунктах регламентированы два вида допустимых концентраций: максимально разовая (ПДК<sub>мр.</sub>) и среднесуточная (ПДК<sub>сс.</sub>), при этом концентрация каждого вредного вещества в приземном слое атмосферы не должна превышать максимально разовой предельно допустимой концентрации, т.е.  $C \leq \text{ПДК}_{\text{мр}}$ , если ее экспозиция не более 20 мин. Если время воздействия вредного вещества превышает 20 мин, то необходимо соблюдать  $C \leq \text{ПДК}_{\text{сс}}$ .

Значения ПДК некоторых веществ приведены в табл. 1.7.

*Нормирование химического загрязнения почв* осуществляется по предельно допустимым концентрациям. ПДК<sub>п</sub> – это концентрация химического вещества (мг) в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

Таблица 1.7

#### ПДК некоторых химических веществ

Вещество	ПДК <sub>рз,</sub> мг/м <sup>2</sup>	ПДК <sub>мр,</sub> мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>сс,</sub> мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Диоксид азота	2	0,005	0,04	2
Диоксид серы	1	0,5	0,05	3
Бензол*	15/5	1,5	0,1	2
Бенз(а)пирен	$1,5 \times 10^{-4}$	-	$0,01 \times 10^{-4}$	1
Оксид углерода**	20	5	3	4
Свинец и его соединения	0,01	-	$3 \times 10^{-4}$	1

\*Приведены две величины: в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

\*\*При длительности работы не более 1 ч в атмосфере, содержащей оксид углерода, его концентрация может достигать 50 мг/м<sup>3</sup>; при длительности работы не более 30 мин – до 100 мг/м<sup>3</sup>; 15 мин – 200 мг/м<sup>3</sup>. Повторные работы

при условии повышенного содержания оксида углерода в рабочей зоне могут производиться с перерывом не менее 2 ч.

Различают четыре разновидности ПДК<sub>п</sub> (табл.1.8) в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА – миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ – миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС – общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест проводится по методическим указаниям МУ 2.1.7.1287-03. Для оценки содержания вредных веществ в почве проводят отбор проб на участке площадью 25 м<sup>2</sup> в 3-5 точках по диагонали с глубины 0,25 м.

Говоря о нормировании качества воды необходимо, прежде всего, определиться с ее назначением (видом): питьевая (хозяйственно-бытовая, технологическая), сточная, оборотная.

Питьевая вода (в соответствии с СанПиН 2.1.4.559-96) должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, таким как термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, цисты лямблий и др.

Таблица 1.8

**Разновидности ПДК<sub>п</sub> в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды**

Вещество	ПДК <sub>п</sub> , мг/кг	Вещество	ПДК <sub>п</sub> , мг/кг
Марганец	1500 по ОС	Бенз(а)пирен	0,02 по ОС
Мышьяк	2 по ОС	Перхлордивинил	0,5 по ТВ
Ртуть	2,1 по ОС	Изопропилбензол	0,5 по МА
Свинец	20 по ОС	Фосфор оксид	200 по ТВ
Хром	0,05 по МВ	Формальдегид	7 по ОС

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по:

- 1) обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории РФ, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение, примеры которых приведены в табл. 1.9;
- 2) содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующих в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения, примеры которых приведены в табл. 1.10.

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности (Бк/л) (табл.1.11).

Сточные воды (производственные, бытовые, поверхностные) являются основными источниками загрязнения водоемов. При сбросе сточных вод в гидросферу необходимо рассчитать их допустимый состав, используя Правила охраны поверхностных вод. Правила устанавливают состав и свойства воды (запах, привкус, водородный показатель, температура и др.) водоемов в зависимости от его назначения хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования устанавливаются ГН 2.1.5.1315-03.

Таблица 1.9

**Обобщенные показатели и содержание вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации (извлечение из СанПиН 2.1.4.559-96)**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы (ПДК), не более	Показатель вредности*	Класс опасности
<b>Обобщенные показатели</b>				
Водородный показатель	Единицы pH	В пределах 6-9		
Жесткость общая	ммоль/л	7,0		
Нефтепродукты,	мг/л	0,1		

суммарно				
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	0,5		
Фенольный индекс	мг/л	0,25		
Неорганические вещества				
Алюминий (Al <sup>3+</sup> )	мг/л	0,5	с.-т.	2
Медь (Cu, суммарно)	мг/л	1,0	с.-т.	3
Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	мг/л	45	орг.	3
Свинец (Pb, суммарно)	мг/л	0,03	орг.	2
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	мг/л	500	орг.	4

\*с.-т. – санитарно-токсикологический, орг. - органолептический.

Таблица 1.10

### Содержание вредных химических веществ в питьевой воде

(извлечение из СанПин 2.1.4.559-96)

Показатели	Единицы измерения	Нормативы (ПДК), не более	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор: остаточный свободный	мг/л	в пределах 0,3-0,5	орг.	3
		в пределах 0,8-1,2	орг.	3
Формальдегид (при озонировании воды)	мг/л	0,05	с.-т.	2

Таблица 1.11

### Нормативы показателей общей α- и β-активности, Бк/л

(извлечение из СанПин 2.1.4.559-96)

Показатели	Единицы измерения	Нормативы	Показатель вредности
Общая α-радиоактивность	Бк/л	0,1	Радиац.
Общая β-радиоактивность	Бк/л	1,0	Радиац.

При определении качества *оборотной воды* также необходимо руководствоваться ее дальнейшим назначением (технологическая, хозяйственная и др.)

*Нормируемые параметры шума* определены ГОСТ 12.1.003-83 с дополнениями 1989 г. и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилой застройки». Документы классифицируют шумы по спектру на широкополосные и ~~тональные~~ <sup>тональные</sup> по временным характеристикам – на постоянные и непостоянные. Для нормирования постоянных шумов применяют допустимые уровни звукового давления (дБ) в девяти октавных полосах частот (табл.1.12) в зависимости от вида производственной деятельности. Для ориентировочной оценки в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах допускается принимать уровень звука (дБА), определяемый по шкале А шумомера.

Нормируемой характеристикой непостоянного шума является эквивалентный по энергии уровень звука. Допустимые значения эквивалентных уровней непостоянных шумов также приведены в табл. 1.12.

*Таблица 1.12*

**Допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий по ГОСТ 12.1.003-83 с дополнениями 1989 г. (извлечение)**

Рабочие места	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	
Помещения конструкторских бюро, расчетчиков, програм-мистов, вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Помещения управления, рабочие комнаты	93	7 9	70	68	58	55	52	50	49	60
Кабины наблюдений и дистанционного управления:	103	9	87	82	78	75	73	71	70	80
Без речевой связи по теле-фону	96	4	74	68	63	60	57	55	54	65
С речевой связью по телефо-ну	96	8 3	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения и участки точной сборки, машинописные бюро	96	8 3	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения лабораторий, проведения экспериментальных работ, для размещения шумных агрегатов, вычислительных машин	107	9 4	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места, рабочие зоны в производственных помещениях	110	9 9	92	86	83	80	78	76	74	85

Для тонального и импульсного шума допустимый уровень должен быть на 5 дБА меньше значений, указанных в табл. 1.12.

Эквивалентный по энергии уровень звука определяется по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \left( \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \tau_i 10^{0,1L_i} \right),$$

где  $\tau_i$  – относительное время воздействия шума класса  $L_i$ , % времени измерения;  $L_i$  – уровень звука класса  $i$ , дБ;  $n$  – число классов.

Нормативные требования по защите от вибраций установлены ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». При гигиенической оценке вибраций основными нормируемыми параметрами являются средние квадратичные значения



виброскорости  $v$  или их логарифмические уровни  $L_v$ . Допустимые значения  $L_v$  представлены в табл.1.13.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест даны для длительности вибрационного воздействия 480 мин (8ч).

Таблица 1.13

**Гигиенические нормы вибраций по СН 2.2.4/2.1.8.566-96**

(извлечение)

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая транспортная: вертикальная горизонтальная	13	12	11	108	107	104	107	-	-	-	-
	2	3	4	116	116	116	116	-	-	-	-
	12	11	11								
	2	7	6								
Транспортно-технологическая	-	11 7	10 8	102	101	101	101				
Технологическая: на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий; в производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию; в служебных помещениях, здравпунктах, конструкторских бюро, лабораториях	-	10 8	99	93	92	92	92	-	-	-	-
	-	10 0	91	85	84	84	84	-	-	-	-
	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-

Локальная вибрация	-	-	-	115	109	109	109	109	109	109	109
-----------------------	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

В случае непостоянных вибраций пользуются эквивалентным по энергии скорректированным уровнем, являющимся одночисловой характеристикой непостоянной вибрации. Он рассчитывается путем усреднения фактических уровней с учетом времени действия каждого по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg 1/T (t_1 10^{0,1L_1} + t_2 10^{0,1L_2} + \dots + t_n 10^{0,1L_n}), \quad 34$$

где  $L_1, L_2, \dots, L_n$  – уровни виброскорости (или виброускорения), действующие в течение времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$  соответственно;  $T=t_1+t_2+\dots+t_n$  – общее время действия вибрации в мин или ч.

При длительном воздействии на человека допустимые уровни в виде ПДК и ПДУ требуют коррекции. При короткой экспозиции допустимыми являются более высокие уровни вредностей, а при длительной они должны снижаться (рис.1.4).

Так, например, сроки развития периферических расстройств зависят не только от уровня, сколько от дозы вибрации в течение рабочей смены. Преимущественное значение имеет время непрерывного контакта с вибрацией и суммарное время воздействия вибрации за смену. У формовщиков, бурильщиков, заточников, рихтовщиков при среднечастотном спектре вибраций заболевание развивается через 8-10 лет работы. Обслуживание инструмента ударного действия (клепка, обрубка), генерирующего вибрацию среднечастотного диапазона (30-125 Гц), приводит к развитию сосудистых, нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений через 12-15 лет. Определенным регулятором дозового воздействия вредностей является соблюдение регламента работы: чередование работы с перерывами на отдых.



Рис.1.4. Зависимость ПДУ воздействия от времени

Учет времени воздействия опасностей на величину их допустимых воздействий применяется при нормировании ЭМИ.

Так, в диапазоне частот 300 мГц – 300 гГц величину предельно допустимого энергетического воздействия электромагнитного излучения на человека определяет по формуле

$$\text{ППЭ}_{\text{доп}} = k \text{ЭЭ}_{\text{доп}} / \tau,$$

где  $\text{ППЭ}_{\text{доп}}$  – предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт·ч/м<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент ослабления биологической эффективности (2.4. Техногенные опасности) ( $k=1$  для всех случаев,  $k=10$  для облучения от вращающихся антенн,  $k=12,5$  для локального облучения кистей рук);  $\text{ЭЭ}_{\text{доп}}$  – предельно допустимая энергетическая экспозиция, равная 2 ВВт·ч/м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение  $\text{ППЭ}_{\text{доп}}$  не должно превышать 10, а при локальном облучении – 50 Вт/м<sup>2</sup>.

Применительно к условиям загрязнения производственной и окружающей среды электромагнитными излучениями радиочастотного диапазона действуют СанПин 2.2.4.1191-03, СанПин 2.1.8./2.2.4.1383-03 и ГОСТ 12.1.006-84.

Критерии допустимого воздействия установлены и для случаев возникновения других опасностей: для инфразвука и ультразвука, для лазерного, инфракрасного, ультрафиолетового и радиационного излучения, для случаев загрязнения продуктов питания и т.д. Конкретные значения ПДК и ПДУ установлены санитарными нормами.

**Критерии допустимой травмоопасности потоков.** Вероятность воздействия травмоопасных потоков на людей оценивают величинами риска принудительной потери жизни. Это происходит в тех случаях, когда потоки масс и/или энергий от источника негативного воздействия в жизненном пространстве нарастают стремительно и достигают чрезмерно опасных значений (например, при авариях). Вероятность такого негативного воздействия обычно связана с возникновением чрезвычайных происшествий (событий) природного и/или техногенного характера. Для ее оценки используется понятие риск.

**Риск** – вероятность реализации негативного воздействия за определенный период времени (например, за год). Риск оценивают на основе статистических данных или теоретических исследований. При использовании статистических данных величину риска определяют по формуле

$$R = N_{\text{чс}} / N_0,$$

где  $R$  – риск;  $N_{чс}$  – число чрезвычайных событий в год;  $N_o$  – общее число событий в год.

Для оценки вероятности реализации чрезвычайно опасных негативных воздействий на людей принимают во внимание следующие виды риска:

- 1) индивидуальный риск ( $R_{и}$ ), когда объектом защиты является человек;
- 2) социальный риск ( $R_{с}$ ), когда объектом защиты является группа людей.

Индивидуальный риск обусловлен вероятностью реализации опасностей с воздействием на человека в конкретных ситуациях. Его определяют по формуле

$$R_{и} = T/C,$$

где  $T$  – численность погибших (пострадавших) за год от определенного фактора или от их совокупного воздействия, например при работе шахтером, испытателем и т.п.;  $C$  – численность людей, подверженных воздействию этих факторов за год.

Причины возникновения индивидуального риска многочисленны и разнообразны. Некоторые значения индивидуального риска приведены в табл. 1.14, где величина риска отнесена к периоду времени в один год.

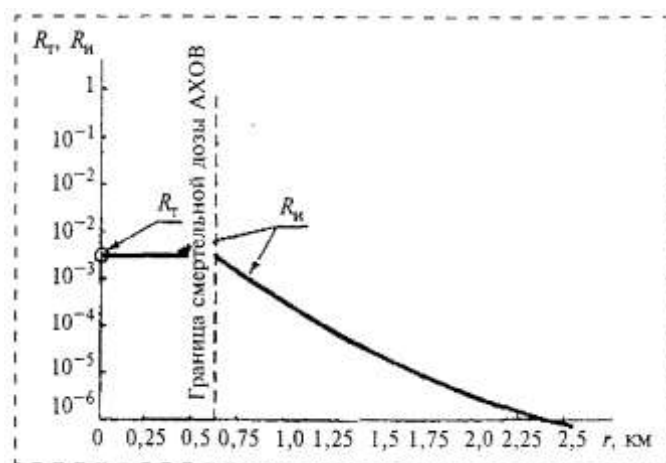


Рис.1.5. Распределение индивидуального риска в зоне воздействия АХОВ

Таблица 1.14

**Характерные значения индивидуального риска гибели людей от естественных и техногенных факторов**

Причина возникновения риска	$R_{и}$ , 1 чел./год	Общественная оценка риска
-----------------------------	----------------------	---------------------------

Аварии на радиоактивных объектах с выбросом веществ в атмосферу (ЧАЭС, «Маяк»)	$10^0 \cdot 10^{-1}$	Зона неприемлемого риска, $R_{и} \geq 10^{-3}$
Военная авиация	$1,2 \cdot 10^{-2}$	
Сердечно-сосудистые заболевания	$3,4 \cdot 10^{-3}$	
Злокачественные опухоли <sup>2.4. Техногенные опасности</sup>	$1,6 \cdot 10^{-3}$ <sup>37</sup>	
Автомобильные аварии	$10^{-3}$	
Автогонки	$7,5 \cdot 10^{-4}$	Переходная зона, $10^{-6} \leq R_{и} \leq 10^{-3}$
Курение	$2,8 \cdot 10^{-4}$	
Самоубийства	$2,2 \cdot 10^{-4}$	
Несчастные случаи на производстве	$3 \cdot 10^{-4}$	
Пожары и взрывы	$4 \cdot 10^{-5}$	
Аварии на железнодорожном, водном и воздушном транспорте; пожары и взрывы	$10^{-5}$	
Проживание вблизи ТЭС (при нормальном режиме работы)	$10^{-6}$	
Все стихийные бедствия, укусы насекомых, проживание вблизи АЭС (при нормальном режиме работы)	$10^{-7}$	Зона приемлемого риска, $R_{и} < 10^{-6}$

Распределение индивидуального риска  $R_{и}$  в пространстве около источника обычно неравномерно. В зоне, прилегающей непосредственно к источнику опасности, он равен величине техногенного риска  $R_{т}$  источника, а затем убывает по мере удаления от источника опасности. Характерное изменение индивидуального риска гибели человека в зоне воздействия при выбросе АХОВ показано на рис. 1.5.

*Социальный риск* характеризует негативное воздействие чрезвычайных опасностей на группы людей. Обычно его оценивают по формуле

$$R_c = \Delta P / P,$$

где  $\Delta P$  – численность погибших от ЧП одного вида в год;  $P$  – средняя численность лиц, проживающих или работающих на данной территории, подверженной влиянию ЧП.

Отметим, что в соответствии с положением о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера тяжесть последствий оценивается как локальная, если пострадало не более 10 человек и зона ее воздействия не выходит за пределы территории объекта производственного или социального назначения.

К источникам и факторам социального риска прежде всего относятся:

2.4. Техногенные опасности

- особо опасные объекты, технические средства, склонные к возникновению аварий;
- урбанизированные территории с неустойчивой ситуацией;
- эпидемии;
- стихийные бедствия.

Социальный риск  $R_c$  в зоне расположения опасного объекта зависит от величины техногенного риска объекта  $R_T$  и показателей количественного распределения людей, находящихся в зоне риска. Местами скопления людей обычно являются производственные и учебные помещения, учреждения, зоны отдыха и т.п.

Характерное изменение величины социального риска в зависимости от численности людей, подверженных его воздействию, показано на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Зависимость социального риска гибели людей около ОПО от численности лиц ( $\Delta P$ ), подверженных воздействию техногенного риска

Для оценки воздействия ЧП на природу используют понятие экологического риска ( $R_3$ ). Его оценивают как отношение численности разрушенных природных объектов к общей численности объектов на рассматриваемой территории в течение года. Экологический риск определяется по формуле

$$R_3 = \Delta O / O,$$

где  $\Delta O$  – численность разрушенных природных объектов из их общего числа  $O$  в пределах рассматриваемого региона.

Иногда экологический риск оценивают отношением площади разрушенных территорий ( $\Delta S$ ) к общей площади ( $S$ ) региона, т.е.

$$R_3 = \Delta S / S.$$

Источниками и факторами <sup>2.4. Техногенные опасности</sup> экологического риска в основном могут быть: <sup>39</sup>

- техногенное влияние на окружающую природную среду;
- стихийные явления – землетрясение, наводнение, ураган, засуха и т.п.

**Концепция приемлемого риска.** Введение в рассмотрение понятия о предельно допустимых (приемлемых) рисках отражает современный подход к оценке меры травоопасности. Общество отвергло концепцию «абсолютной безопасности» и пришло к концепции приемлемого для человека «допустимого риска». При реализации этой концепции важнейшей задачей является установление верхней границы допустимого риска. На практике ее рационально находить на основе статистических данных.

Ключевым значением при установлении допустимого риска явилась величина, предложенная британским исследователем Ф.Р.Фармером в 1967 г. Смысл его предложения заключался в установлении величины допустимого риска, равным риску выхода радиоактивной утечки в атмосферу из ядерного реактора в год.

Современные представления об уровнях приемлемого индивидуального риска говорят о следующем:

- 1) нижнюю зону, где значение вероятности смерти находится в пределах менее  $10^{-6}$ , представляют маловероятные события. Эту зону принято называть зоной приемлемого риска. По принятой в настоящее время концепции допустимое для населения значение индивидуального риска от любой формы деятельности не должно превышать величину  $10^{-6}$  смертей на одного человека в год. Эта величина реализуется обычно при стихийных природных явлениях, избавиться от которых мы не можем и вынуждены принимать их как условия своего существования на Земле. Одновременно статистика показывает также, что индивидуальный риск летального исхода при эксплуатации многих технических систем также существует на уровне  $10^{-7}$ ;
- 2) в верхней зоне при вероятности более  $10^{-3}$  сосредоточены наиболее вероятные естественные причины, по которым погибает подавляющее

большинство людей. Поэтому добавление в нашу жизнь техногенных и антропогенных факторов опасностей с вероятностью более  $10^{-3}$  существенно увеличивает вероятность смерти людей от внешних причин. Эта зона рассматривается обществом как зона неприемлемого риска;

- 3) в зону индивидуального риска смерти человека от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$  входят многочисленные, весьма распространенные виды деятельности и события. Ее называют переходной зоной от недопустимого риска ( $>10^{-3}$ ) к зоне приемлемого риска ( $<10^{-6}$ ).

2.4. Техногенные опасности

40

В последние годы в мировой практике концепция приемлемого риска находит все более широкое применение. Теоретические попытки количественной оценки приемлемого риска предприняты во Франции, Дании, Нидерландах, России и других странах. В Великобритании принят допустимым риск серьезных аварий, равный  $10^{-4}$ , в Нидерландах приемлемый индивидуальный риск смерти принят равным  $10^{-6}$  ч/год.

### 1.6. Идентификация опасностей техногенных источников.

Современные источники техногенных опасностей должны обладать:

- минимальным спектром и уровнем вредного воздействия на работающих, селитебные зоны техносферы и природу;
- минимальным техногенным риском, обеспечивая тем самым минимизацию индивидуального, социального и экологического рисков в зонах своего влияния.

Оценка опасностей техногенных источников выполняется на этапах их проектирования (модернизации) и при эксплуатации. Процедуру оценки числа и уровня опасностей на этапе проектирования принято называть идентификацией опасностей.

*Идентификация опасных воздействий* предусматривает выявление номенклатуры опасных потоков и расчет параметров их воздействия на работающих, население и природу.

При воздействии потоков вещества вычисляют:

- массы выбросов, сбросов веществ, поступающих в помещения, промышленную зону и окружающую среду;
- концентрация веществ в загрязненных ими зонах;
- размеры и конфигурацию загрязненных зон.

При воздействии потоков энергий определяют мощность и интенсивность потоков в зонах их влияния. Кроме указанных параметров учитываются и



временные показатели процесса негативного влияния опасных зон, создаваемых источником опасности.

Идентификация опасностей в зонах пребывания людей – многофакторная задача. Некоторые упрощенные подходы к ее реализации рассмотрены ниже.

**Идентификация выбросов в атмосферный воздух.** Выбросы технологических процессов и технических систем при их работе в штатных режимах состоят из:

- веществ, выбрасываемых в атмосферу;
- веществ, поступающих в рабочее помещение;
- утечек рабочих сред из технических систем при нарушении их герметичности как в помещении, так и на промышленные площадки.

Масса выбросов  $M$ , возникающих при проведении технологических процессов, обычно рассчитывается по формуле

$$M = m_{y\partial} P k (1 - \eta),$$

где  $m_{y\partial}$  – удельное выделение загрязняющего вещества на единицу характерного показателя  $P$  производственного процесса (для расчета выбросов из плавильных агрегатов  $P$  – производительность плавильного агрегата, т/ч; для расчета выбросов при электродуговой сварке  $P$  – расход электродов, кг/ч; для расчета выбросов при резке металлов  $P$  – произведение длины реза на толщину разрезаемого металла, м<sup>3</sup>/ч; при окраске  $P$  – расход лакокрасочных материалов, кг/ч);  $k$  – поправочный коэффициент для учета особенностей технологического процесса;  $\eta$  – эффективность средств очистки выбросов в долях единицы. При отсутствии  $\eta = 0$ .

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке чугуна в открытых чугунолитейных вагранках и электродуговых печах производительностью до 7 т/ч приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

**Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке чугуна в открытых вагранках и электродуговых печах**

Плавильный агрегат	Пыль	Оксид углерода	Угле-водороды	Оксиды азота	Диоксид серы
Открытая вагранка	19	200	2,4	0,014	1,54
Электродуговая печь	8,1	1,5	-	0,29	-

Для процесса ручной дуговой сварки сталей электродами с покрытием  $m_{y\partial}$  на кг электродов составляют: 40 г пыли, 2 г фтороводорода, 1,5 г оксидов углерода и азота.

Обычно системы отвода загрязнений в техносферу от мест их образования удаляют из цеха до 97% вредных веществ, т.е. 3% веществ все же поступают в помещение цеха.

При эксплуатации систем с повышенным давлением возможны утечки газов, паров и жидкостей через уплотнения разъемных соединений, трубопроводов, затворы трубопроводной арматуры (клапаны, вентили и др.). Утечки газов  $Q_2$  ( $\text{см}^3/\text{мин}$ ) через затворы определяются по формуле

$$Q_2 = knD_y^{0,5}(10p_l + 2),$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от класса герметичности,  $k=1\div 10$ ;  $n$  – коэффициент, зависящий от вида арматуры (для вентилей  $n=75\cdot 10^{-4}$ ; для затворов  $n=2,6\cdot 10^{-3}$ );  $p_l$  – давление среды в трубопроводе, МПа;  $D_y$  – диаметр условного прохода, мм. Объем утечек газов значительно превышают утечки жидкостей  $Q_{ж}$ , обычно  $Q_2/Q_{ж}\approx 10\div 10^3$ .

При сжигании топлива (уголь, мазут, природный газ) в котлах ТЭС образуются нетоксичные диоксид углерода и водяной пар. Кроме них в атмосферу выбрасываются и вредные вещества, такие как оксид углерода, оксиды серы и азота, летучая зола. Для ТЭС мощностью 1000 мВт характерны выбросы углекислого газа – 560; паров воды – 105; диоксида серы – 14; оксидов азота – 4 и золы 0,85 т/ч при условии, что эффективность очистки дымовых газов от летучей золы составляет 0,99. Вблизи ТЭС, выбрасывающих такое количество загрязнителей, образуются зоны с повышенными по сравнению с допустимыми концентрациями вредных веществ протяженностью до пяти км и более.

Для определения загрязнения атмосферного воздуха выбросами от точечного источника (например, от трубы ТЭС) используют методику ОНД-86.

Величина максимальной приземной концентрации загрязняющего вещества ( $C_M$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем определяется по формуле

$$C_M = \frac{AMFm\eta}{H^2\sqrt[3]{V\Delta T}},$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе);  $M$  – масса вредных веществ, выбрасываемого

в атмосферу в единицу времени, г/с;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания частиц загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;  $m, n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае равнинной местности равен 1;  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м;  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси ( $T_2$ ) и температурой окружающего атмосферного воздуха ( $T_B$ ), °С;  $V$  – расход выбрасываемой газовой смеси, м<sup>3</sup>/с, определяемый по формуле

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

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

Значение коэффициента  $A$ , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

250 – для районов Средней Азии южнее 40° с.ш., Бурятии и Читинской области;

200 – для европейской территории России и для районов южнее 50° с.ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Республики Молдовы, для среднеазиатских государств СНГ, Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири;

180 – для европейской территории России и Урала от 50 до 52° с.ш., за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов и Украины;

160 – для европейской территории России и Урала севернее 52° с.ш. (за исключением центра европейской территории России), а также для Белоруссии, Украины;

140 – для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Значения мощности выброса  $M$  (г/с) при проектировании предприятий определяются расчетом в технологической части проекта.

При определении значения  $\Delta T$  (°С) принимается температура окружающего атмосферного воздуха  $T_B$ , равная средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, а температура

выбрасываемой в атмосферу газовой смеси  $T_r$  – по параметрам технологического процесса.

Концентрация примеси в приземном слое атмосферы по оси факела выброса на разных расстояниях от источника распределяется следующим образом (рис. 1.7)

Рис. 1.7. Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере у земной поверхности от организованного высокого источника выбросов:

А – зона неорганизованного загрязнения; Б – зона переброса факела; В – зона задымления; Г – зона постепенного снижения уровня загрязнения.

Вблизи источника выброса концентрация примеси мала (А – зона неорганизованного загрязнения), а затем она увеличивается, достигая максимума на некотором расстоянии от трубы, и снижается. Это происходит в трех зонах: зоне переброса факела (Б), зоне задымления (В) – зоне максимального содержания загрязняющих веществ и зоне постепенного снижения уровня загрязнения (Г). Зону задымления можно выделить как участок, на котором  $C > 0,5C_M$ .

Совпадение зоны задымления с местами расположения объектов, требующих повышенной чистоты воздуха, недопустимо.

Наибольшего значения концентрация обычно достигает на расстоянии от 10 до 40 высот труб в случае нагретых выбросов и на расстоянии 5-10 высот труб в случае холодных выбросов. Так, при высоте труб от 100 до 250 м расстояние от точки выброса (от трубы) до точки максимума концентрации в зоне задымления при нагретых выбросах составляет 1-2,5 км, при холодных – 0,5 км.

Автомобильный транспорт при сжигании бензина или дизельного топлива выбрасывает отработавшие газы, состоящие из нетоксичных паров воды, диоксида углерода, азота, кислорода и водорода, а также из токсичных

веществ: оксида углерода, оксида азота, углеводородов, альдегидов, сажи, бенз(а)пирена и др. Состав отработавших газов ДВС зависит от режима работы двигателя.

Отработавшие газы ДВС в городах являются основными загрязнителями атмосферного воздуха. Согласно данным исследований концентрация оксида углерода  $CO$ ,  $mg/m^3$ , в воздухе автомагистралей (на краю проезжей части) можно рассчитать по формуле

$$C_{CO} = 1,53N^{-0,368},$$

где  $N$  – интенсивность движения автомобилей, авт./ч.

Для транспортных магистралей характерны концентрации токсичных веществ,  $mg/m^3$ , в атмосферном воздухе, представленные в табл. 1.16.

Таблица 1.16

Концентрация токсичных веществ на автомагистралях,  $mg/m^3$

Категория улицы	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды азота
Магистральная	16,5 – 28,2	1,8 – 3,2	6.8 – 8,0
Общегородская непрерывного движения	54,3 – 66,0	6,0 – 7,7	12,6- 15,5

Концентрация оксида углерода и других токсичных компонентов отработавших газов автомобильных двигателей достигают наибольших значений на перекрестках. В этом случае

$$C_{CO(пер)} = C_{CO}(1 + N_2/N_1),$$

где  $C_{CO(пер)}$  – концентрация  $CO$  на перекрестке;  $C_{CO}$  – то же на главной магистрали с интенсивностью движения;  $N_1, N_2$  – интенсивность движения на второстепенной магистрали.

В реальных производственных городских, региональных и тому подобных условиях атмосферный воздух практически всегда оказывается одновременно загрязненным несколькими веществами.

Совместное негативное влияние загрязняющих веществ на воздух городов и промышленных зон оценивают индексом загрязнения атмосферы (ИЗА). Для каждого  $i$  – го вещества

$$ИЗА = k_i(C_i/ПДК_{cci}),$$

где  $k$  – коэффициент, равный 1,7 – для веществ I класса; 1,3 – для веществ II класса; 0,1 – для вещества III класса и 0,9 – для веществ IV класса;  $C_i$  – текущая концентрация  $i$  – го вещества.

Интегральную оценку загрязненности атмосферы в городах обычно ведут по пяти наиболее опасным веществам, для чего рассчитывают значения ИЗА по формуле

2.4. Техногенные опасности

46

$$ИЗА_5 = \sum_{i=1}^5 k_i \frac{C_i}{ПДК_{сси}}$$

Допустимые значения  $ИЗА_5 < 7$ . В 2002 г. в России 38 городов имели показатель  $ИЗА_5 > 14$ . Данные наблюдений за 2008 г. показывают, что уровень загрязнения атмосферы остается высоким. В 67% городов (136 городов), где проводятся наблюдения, степень загрязнения воздуха очень высокая и в 19% городов – низкая (рис.1.8).

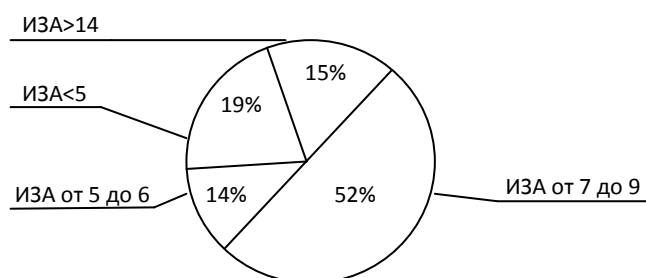


Рис. 1.8. Данные по уровню загрязнения атмосферного воздуха в городах Российской Федерации (2008 г.)

### **Идентификация энергетических воздействий.**

#### 1.7. Поле опасностей

Современный мир опасностей (ноксосфера) обширен и весьма значителен. Как правило, в производственных, городских или бытовых условиях на человека воздействует одновременно несколько негативных факторов. Комплекс факторов, одновременно действующих на конкретный объект защиты, зависит от текущего состояния совокупности источников опасности около объекта. Совокупность источников образует около защищаемого объекта так называемое *поле опасностей*.

Поле опасностей, действующих на объект защиты, можно представить в виде совокупности факторов первого, второго, третьего и иных кругов, расположенных вокруг защищаемого объекта. Считается, что основное влияние на объект защиты (человека) оказывают факторы первого круга. Факторы второго круга влияют в основном на другие объекты защиты (здания и

сооружения, промышленные территории и т.п.). Опасности третьего круга оказывают всеобщее влияние на население регионов и крупных городов, континентов и все население Земли. Опасности второго и третьего круга опосредованно могут воздействовать на каждого человека, усиливая влияние первого круга опасностей.

Характерное строение причинно-следственного поля опасностей, действующих на человека в современной техносфере, показано на рис. 1.10

**Рис. 1.10. Схематическое изображение причинно-следственного поля опасностей, в котором находится организм человека (Ч)**

В состав первого круга опасностей, непосредственно действующих на человека, входят:

- опасности, связанные с климатическими и погодными изменениями в атмосфере и гидросфере;
- опасности, возникающие из-за отсутствия нормативных условий деятельности, - по освещенности, по содержанию вредных примесей, по электромагнитному и радиационному излучениям и т.п.;
- опасности, возникающие в селитебных зонах и на объектах экономики при реализации технологических процессов и эксплуатации технических средств, как за счет несовершенства техники, так и за счет ее нерегламентированного использования операторами технических систем и населением в быту;
- чрезвычайные опасности, возникающие при стихийных явлениях и техногенных авариях, в селитебных зонах и на объектах экономики;
- опасности, возникающие из-за недостаточной подготовки работающих и населения по безопасности жизнедеятельности.

Основные причины возникновения опасностей второго круга обусловлены наличием и нерациональным обращением отходов производства и быта; чрезвычайными ситуациями, возникающими при стихийных явлениях и техногенных авариях, в селитебных зонах и на объектах экономики; недостаточным вниманием руководителей производства к вопросам безопасности проведения работ и т.п. Это создает условия для неправильной организации рабочих мест, нарушения условий труда, загрязнения воды, продуктов питания и т.п.

Опасности третьего круга не всегда выражены достаточно четко. Однако некоторые их перечень может быть сформулирован. К ним, прежде всего, следует отнести отсутствие необходимых знаний и навыков у разработчиков при проектировании технологических процессов, технических систем, зданий и сооружений; отсутствие эффективной государственной системы руководства вопросами безопасности в масштабах отрасли экономики или всей страны; недостаточное развитие системы подготовки научных и руководящих кадров в области БЖД и ЗОС.

Разделение ноक्सферы на отдельные круги опасностей является достаточно условным, но весьма важным при анализе причин негативного влияния опасностей на людей. Нужно руководствоваться следующим: пренебрежение требованиями безопасности в первом круге опасностей сопровождается, как правило, травмами, отравлениями или заболеваниями человека или небольших групп людей; пренебрежение требованиями безопасности во втором круге опасностей, как правило, отдалает по времени негативные последствия, но увеличивает масштабы их воздействия на людей (массовые отравления при загрязнении биоресурсов отходами, гибель людей в шахтах, при обрушении строительных конструкций и т.п.).

Действие источников опасностей третьего круга обычно широкомасштабно. Так, например, применение этилированного бензина в ДВС, санкционированное государством, губительно для населения крупных городов; принятие решения о переработке в России радиоактивных отходов, ввозимых из-за рубежа, таит опасность радиоактивного воздействия на население многих регионов нашей страны и т.д.

В настоящее время комплексная оценка реальных ситуаций с использованием модельных представлений о причинно-следственном поле опасностей, действующих на промышленном предприятии, в техносферном регионе и т.п., проводится редко из-за отсутствия теоретических и практических разработок в этой области. Это задача ближайшего будущего, входящего в



комплекс научных исследований в области обеспечения техносферной безопасности (БЖД и ЗОС).

## Контрольные вопросы

1. Перечислите основные принципы ноксологии.
2. Назовите основные понятия ноксологии.
3. Сформируйте закон толерантности.
4. Опишите характерные виды потоков взаимодействия человека с окружающей средой.
5. Какова таксономия опасностей?
6. Каковы критерии квантификации опасностей?
7. Что такое ПДВ, ПДК, ПДУ?
8. Что такое «приемлемый риск»?
9. В чем суть понятия «поле опасностей»?

## Глава 2 СОВРЕМЕННАЯ НОКСОСФЕРА

Любая опасность становится гораздо менее страшной, если известны ее причины.

*Конрад Лоренц*

В любом хозяйственном цикле образующиеся отходы и возникающие побочные эффекты (в том числе опасности. — *Прим. авт.*) неустранимы, они могут быть либо уменьшены за счет вторичной переработки, либо переведены из одной физико-химической формы в другую, либо перемещены в пространстве.

*Закон о неустранимости отходов и (или) побочных воздействий производств*

**Изучив материалы этой главы, студент должен:**

- **знать:** важнейшие процессы взаимодействия человека со средой обитания (энергообмен, теплообмен, массообмен), основные особенности естественных (повседневных, стихийных), антропогенных и техногенных опасностей (постоянных, чрезвычайных);
- **уметь:** классифицировать опасности по происхождению, определять интегральную картину опасностей, проводить первичную качественную оценку опасностей среды обитания;

- **владеть** навыками приоритетного описания поля опасностей отдельных видов деятельности.

Для оценки влияния современного мира опасностей (нок-сосферы) на человека и природу целесообразно прежде всего изучить основы процессов их взаимодействия, а также негативное влияние техносферы на среду обитания и человека.

## 2.1. Взаимодействие человека с окружающей средой

2.4. Техногенные опасности

50

Организм человека постоянно находится во взаимодействии с окружающей его средой. Жизнь урбанизированного человека неразрывно связана со следующими процессами: труд, пребывание в городской среде, использование средств транспорта, сфера быта, активный и пассивный отдых.

**Энергообмен человека.** Совершение всех видов деятельности организма осуществляется за счет потребляемой им химической энергии, содержащейся в биологическом «топливе» — пище.

Совокупность всех химических реакций в организме, необходимых для обеспечения его веществом и энергией, называется **обменом веществ**. В науке используют понятия основного обмена и обмена при различных видах деятельности.

**Основной обмен** характеризуется величиной всех энергетических трат в организме при полном мышечном покое, в стандартных условиях (при комфортной температуре окружающей среды, спустя 12—16 часов после приема пищи, в положении лежа). Эта энергия тратится только на поддержание жизни в теле человека, ее расход составляет 4,2 кДж в час на 1 кг массы тела. Для человека массой 70 кг общие энергетические траты при основном обмене составляют 294 кДж/ч, что соответствует мощности 81,7 Вт. Любое отклонение от этих условий вызывает изменение интенсивности основного обмена. Так, после приема пищи в зависимости от ее вида основной обмен возрастает на 10—30%, а с повышением температуры тела на 1°C интенсивность основного обмена возрастает в среднем на 5%. Основной обмен зависит также от эмоционального состояния человека, его пола и возраста.

При напряжении мышц туловища затраты энергии превышают уровень основного обмена на 5—10%, в положении стоя — на 10—25%, при вынужденной неудобной позе — на 40-50%.

Энергозатраты при мышечной работе зависят от ее напряженности и продолжительности. Так, затраты энергии на ходьбу зависят от скорости передвижения человека и составляют примерно 175, 245 и 315 Вт

соответственно при значениях скорости 3, 4 и 5 км/ч. Затраты энергии при мышечной работе различной интенсивности приведены ниже:

Сон	67,5-71,1
Легкая сидячая работа	116,4-139
Легкая физическая работа	140-174
	175-200
Тяжелая физическая работа	более 290

При интенсивной интеллектуальной работе потребности мозга в энергии составляют 15—20% основного обмена. Превышение суммарных энергетических затрат при умственной работе определяется степенью нервно-эмоциональной напряженности. Так, при чтении вслух сидя расход энергии повышается на 48%, при выступлении с публичной лекцией — на 94%, у операторов вычислительных машин — на 60—100%.

Суточные энергозатраты (мДж) зависят от рода деятельности человека:

Работники умственного труда (врачи,	10,5-11,7
Работники механизированного труда и сферы обслуживания (медсестры,	11,3-12,5
Работники, выполняющие работу средней тяжести (станочники, шоферы, хирурги,	12,5-15,5
Работники, выполняющие тяжелую работу	16,3-18

Еще в 1840 г. Ю. Либих сформулировал так называемый закон минимума, который гласит: «Выносливость организма определяется слабым звеном в цепи его потребностей; его жизненные возможности лимитируются факторами, количество и качество которых близко к необходимому организму минимуму. Дальнейшее снижение или ухудшение этих факторов ведет организм к гибели».

**Теплообразование и температура тела человека.** Нормальная жизнедеятельность человека может осуществляться только при определенных метеорологических условиях: давлении  $P$ , температуре  $t$ , относительной влажности  $sr$  и скорости движения окружающего воздуха  $W$ . Эти параметры влияют на интенсивность теплообмена тела человека с окружающей средой, в процессе которого отводится вырабатываемая организмом теплота  $Q_{выр}$ . а температура тела поддерживается на определенном уровне, обеспечивающим нормальное протекание обменных реакций в организме человека. Для человека температурный оптимум близок к температуре тела, составляющей около  $+37^{\circ}\text{C}$ , под которой понимают температуру его внутренних органов. Ее величина достаточно стабильна и лишь незначительно изменяется с течением суток и с возрастом. Максимальная величина температуры тела ( $37,0—37,6^{\circ}\text{C}$ ) наблюдается в 16—18 часов, минимальная — ( $36,0—36,2^{\circ}\text{C}$ )

наблюдается около 3—4 часов. У пожилых людей температура тела снижается до 35,0— 36,0°C. Жизнедеятельность организма человека возможна лишь при температуре тела не ниже +25°C и не выше +43°C.

Значительная часть энергии, высвобождающейся при окислительно-восстановительном распаде пищи, трансформируется в теплоту, но основное количество теплоты (от 65 до 70%) вырабатывается в мышцах тела человека. При интенсивной мышечной работе количество выделяемой в мышцах теплоты повышается до 90% от общей теплопродукции тела человека. Теплопродукция организма зависит не только от интенсивности мышечной работы, но также и от температуры окружающей среды (табл. 2.1).

В поверхностном слое тела толщиной примерно 2,5 см происходит снижение температуры тканей, вызванное потерей теплоты в окружающую среду. Поэтому температура кожи несколько ниже температуры внутренних органов. Так, температура кожи лба колеблется в диапазоне 32,5—34°C, груди 31—33,5°C, кистей рук — 28,5°C, пальцев стопы — 24,4°C. Наибольшее значение температуры кожи наблюдается в подмышечной впадине — 36,5—36,9°C. Эту температуру чаще всего и используют для оценки теплового состояния организма человека.

Таблица 2.1

**Количество теплоты, выделяющейся в теле человека при различных физических нагрузках и температуре воздуха в помещении, Вт**

	Температура воздуха в помещении					
	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Состояние покоя	163	145	116	93	93	93
Легкая работа	180	157	151	145	145	145
Работа средней тяжести	215	210	204	198	198	198
Тяжелая работа	291	291	291	291	291	291

**2.1. Взаимодействие человека с окружающей средой**

Выделение теплоты в теле человека вызывает нагрев его тканей. Так, количество теплоты, выделяющейся в организме человека, находящегося в состоянии покоя, достаточно для нагрева его тела в течение одного часа на 1,2°C, а при выполнении им работы средней тяжести — почти на 3°C. Однако этому препятствует отвод вырабатываемой теплоты в окружающую среду.

Теплообмен тела человека с окружающей средой осуществляется через кожные покровы, а также в процессе дыхания за счет нагрева вдыхаемого в легкие воздуха и испарения воды с их поверхности. При этом организм использует все существующие в природе механизмы теплообмена: теплоизлучающий, теплопроводный, конвективный и транспирационный

(посредством испарения влаги). Поэтому количество отводимой в окружающую среду теплоты  $Q_{отв}$  можно представить в виде суммы:

$$Q_{отв} = Q_K + Q_T + Q_{ти} + Q_{п} + Q_{д},$$

где  $Q_K$ ,  $Q_T$ ,  $Q_{ти}$ ,  $Q_{п}$ ,  $Q_{д}$  — количество теплоты, отводимой за счет конвекции, теплопроводности, теплового излучения, испарения пота и дыхания соответственно, Вт.

Конвективный теплообмен определяется законом Ньютона:

$$Q_K = a_K F_э (t_K - t_{oc}),$$

где  $a_K$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией, при нормальной температуре  $a_K = 4,06$  Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $t_K$  — температура кожи тела человека (зимой среднее значение температуры кожи около 21,1°С, летом около 31,5°С);  $t_{oc}$  — температура окружающей воздушной среды, °С;  $F_э$  — площадь эффективной поверхности тела человека (для практических расчетов эту площадь принимают равной 1,8 м<sup>2</sup>).

Значение коэффициента теплоотдачи конвекцией можно приближенно определять как

$$a_K = \lambda / \delta,$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности пограничного слоя воздуха, Вт/(м·°С) (при нормальной температуре воздуха  $\lambda = 0,025$  Вт/(м·°С));  $\delta$  — толщина пограничного слоя воздуха, м.

Толщина пограничного слоя воздуха зависит от скорости движения воздуха. Так, при отсутствии движения воздуха  $\delta = 4—8$  мм, а при скорости движения воздуха 2 м/с толщина пограничного слоя уменьшается до 1 мм.

Таким образом, интенсивность и направление конвективного теплообмена тела человека с окружающей средой определяются в основном температурой и подвижностью окружающего воздуха, т.е.:

$$Q_K = f(t_{oc}; W)$$

Передачу теплоты теплопроводностью можно описать уравнением Фурье:

$$Q_T = (\lambda_0 / \Delta_0) F_э (t_{пов} - t_{oc}),$$

где  $\lambda_0$  — коэффициент теплопроводности тканей одежды человека, Вт/м · °С;  $\Delta_0$  — толщина одежды человека.

Теплоизлучающий теплообмен описывается обобщенным законом Стефана — Больцмана:

$$Q_{\text{л}} = C_{\text{пр}} F_{\text{к}} \psi \{ (t_{\text{к}}/100)^4 - (t_{\text{оп}}/100)^4 \}$$

где  $C_{\text{пр}}$  — приведенный коэффициент излучения, для практических расчетов  $C_{\text{пр}} \sim 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$ ;  $F_{\text{к}}$  — площадь поверхности, излучающей лучистый поток,  $\text{м}^2$ ;  $\psi$  — коэффициент облучаемости, зависящий от расположения и размеров поверхностей и показывающий долю лучистого потока, излучаемого поверхностью пламени (на практике применяется равным единице);  $t_{\text{к}}$  — средняя температура кожи, К;  $t_{\text{оп}}$  — средняя температура окружающих поверхностей, К.

Количество теплоты, отдаваемое телом человека в окружающую среду при испарении пота, определяется уравнением

$$Q_{\text{г}} = M_{\text{п}} r,$$

где  $M_{\text{п}}$  — масса испарившегося пота, г/с;  $r$  — скрытая теплота испарения пота, Дж/г (для воды  $r = 2450 \text{ Дж/г}$ ).

Количество пота, выделяемого телом человека, приведено в табл. 2.2.

**Таблица 2.2**

**Количество пота, выделяемого телом человека при различных физических нагрузках и температуре воздуха в помещении, г/ч**

Интенсивность работы	Температура воздуха в помещении					
	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Состояние покоя	30	40	40	50	75	115
Легкая работа	40	55	75	115	150	200
Работа средней тяжести	70	110	140	185	230	280
Тяжелая работа	135	185	240	295	355	415

Испарение пота с поверхности кожи происходит только в том случае, если относительная влажность окружающего воздуха  $\phi < 100\%$ . С уменьшением величины относительной влажности воздуха и с ростом скорости движения воздуха интенсивность испарения пота возрастает.

Таким образом, количество теплоты, отдаваемой телом окружающему воздуху в процессе испарения пота, зависит от температуры  $t_{\text{ов}}$  его относительной влажности  $\phi$  и скорости движения  $W$ .

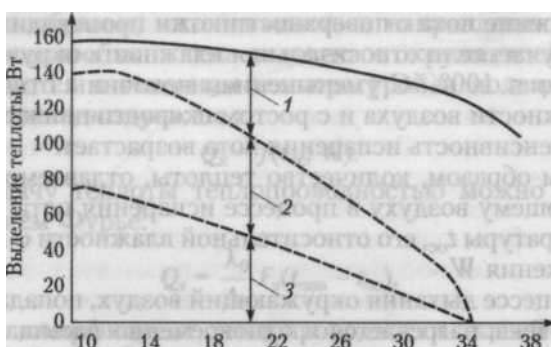
В процессе дыхания окружающий воздух, попадая в легкие человека, нагревается и одновременно насыщается водяными парами. В технических расчетах можно принять, что выдыхаемый воздух имеет температуру 37°C. Количество теплоты, расходуемой на нагревание вдыхаемого воздуха, определяется по формуле

$$V_{\text{лв}} \rho_{\text{вд}} C_p (t_{\text{выд}} - t_{\text{вд}})$$

где  $V_{\text{лв}}$  — объем воздуха, вдыхаемого человеком в единицу времени, «легочная вентиляция», м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{\text{вд}}$  — плотность вдыхаемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — удельная теплоемкость вдыхаемого воздуха, кДж/(кг·°C);  $t_{\text{выд}}$  — температура выдыхаемого воздуха, °C;  $t_{\text{вд}}$  — температура вдыхаемого воздуха, °C.

Объем легочной вентиляции определяется как произведение объема воздуха, вдыхаемого за один вдох, на частоту дыхания. Частота дыхания человека непостоянна и зависит от состояния организма и физической нагрузки. В состоянии покоя она составляет 12—15 вдохов-выдохов в минуту, а при тяжелой физической нагрузке 20—25. Полный объем легких человека составляет 4—4,5 л, однако в процессе жизнедеятельности он используется не полностью, так как это требует больших затрат энергии на работу грудных мышц. В состоянии покоя объем вдыхаемого воздуха составляет около 0,5 л, а при выполнении тяжелой работы он увеличивается до 1,5—1,8 л.

Вклад каждого из описанных механизмов теплообмена в процесс теплоотдачи от тела человека в окружающую среду зависит от метеорологических условий и интенсивности выполняемой работы. Так, в состоянии покоя при температуре 20°C на долю излучения приходится 50—65% теплоотдачи, на испарение пота — 20—25%, конвекцию — 15%, дыхание — 5%. При изменении температуры, относительной влажности и скорости движения окружающего воздуха это соотношение меняется (рис. 2.1).



**Температура окружающей среды, °C**

**Рис. 2.1.** Показатели выделения теплоты телом человека, находящегося в спокойном состоянии, в зависимости от температуры окружающей среды:

**1 — теплота, выделяемая при испарении; 2 — теплота, выделяемая путем конвекции; 3 — теплота, выделяемая излучением**

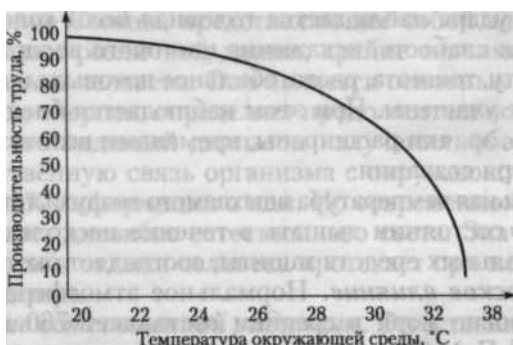
Нормальное тепловое состояние организма человека, называемое тепловым комфортом, наблюдается при условии, когда вся вырабатываемая организмом теплота  $Q_{\text{выр}}$  передается телом окружающей среде  $Q_{\text{отв}}$ , т.е. - выполняется равенство  $Q_{\text{выр}} = Q_{\text{отв}}$

Нарушение этого равенства вызывает изменение теплового ощущения человека. При  $Q_{\text{выр}} > Q_{\text{отв}}$  теплота накапливается в теле, его температура повышается и человеку становится жарко, при  $Q_{\text{выр}} < Q_{\text{отв}}$  возникает дефицит теплоты в теле человека, его температура падает, что ощущается как холод.

**Влияние параметров микроклимата на самочувствие человека.** Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости движения воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма.

При повышении температуры воздуха возникают обратные явления. Установлено, что при температуре свыше 25°C работоспособность человека начинает снижаться (рис. 2.2).

Для человека определены максимальные значения допустимой температуры в зависимости от длительности их воз-



**Рис. 2.2. Зависимость производительности труда от изменения температуры окружающей среды**

действия и используемых средств защиты. Переносимость организмом человека высоких температур зависит от влажности и скорости движения воздуха.

Высокая влажность воздуха уменьшает скорость испарения пота, что ухудшает теплоотдачу с поверхности кожи и ведет к перегреву тела человека. Особенно



неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность воздуха при  $t_{oc} > 30^{\circ}\text{C}$ , когда практически вся теплота, вырабатываемая в теле человека, отдается в окружающую среду за счет испарения пота.

Интенсивное потовыделение при высоких температурах приводит к обезвоживанию организма. Обезвоживание на 6% влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения, обезвоживание на 15—20% приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей, микроэлементов и водорастворимых витаминов (С, В<sub>6</sub>, В<sub>2</sub>). При неблагоприятных условиях потери жидкости организмом человека могут достигать 8—10 л за смену. При этом потери соли NaCl (ее концентрация в поте составляет 0,3—0,6%) достигают 40 г, что составляет почти 30% ее общего количества в организме человека. Потери соли крайне опасны для организма.

Длительное воздействие высокой температуры особенно в сочетании с повышенной влажностью может привести к значительному накоплению теплоты в организме и развитию его перегревания выше допустимого уровня — гипертермии — состоянию, при котором температура тела поднимается до 38—39°C. При гипертермии и, как следствие, тепловом ударе наблюдается головная боль, головокружение, общая слабость, искажение цветового восприятия, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное потовыделение, пульс и дыхание учащены. При этом наблюдается бледность, синюшность, зрачки расширены, временами возникают судороги, потеря сознания.

Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, составляет около 116°C.

**Барическое влияние.** Нормальное атмосферное давление на уровне моря в среднем составляет 760 мм рт. ст. ( $1,03 \cdot 10^5$  Па). С высотой давление воздуха уменьшается и становится опасным для человека на высоте 4—5 км над уровнем моря из-за кислородной недостаточности. При снижении относительно уровня моря (например, в шахте) атмосферное давление возрастает на каждые 100 м примерно на 9 мм рт. ст. При погружении в водную среду давление водяного столба растет на одну атмосферу на каждые 10 метров глубины. Поэтому безопасным считается погружение без специальных средств на 2—3 м.

**Влияние электромагнитного поля Земли.** Электромагнитные поля естественного происхождения являются постоянно действующим физическим

фактором окружающей среды, необходимым для возникновения и существования жизни на планете. Естественными источниками геомагнитного поля являются: атмосферное электричество, излучение Солнца, электрические и магнитные поля Земли. На поверхности Земли, обладающей избыточным электрическим зарядом, существует напряженность электрического поля, обычно равная 100—200 В/м и возрастающая в несколько раз при грозовой активности.

Напряженность магнитного поля Земли при спокойной магнитной обстановке составляет 70—150 А/м. Во время магнитных бурь магнитная напряженность возрастает на порядок.

В условиях дефицита естественных электромагнитных полей возникает дисбаланс основных нервных процессов в виде преобладания торможения, дистонии мозговых сосудов, развития изменений со стороны сердечно-сосудистой, иммунной и других систем.

Коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля на рабочих местах персонала в помещении не должен превышать 2.

Излучение Солнца, представляющее собой электромагнитные волны различной длины, крайне значимо для живой природы и человека. Оно является основным внешним источником энергии, определяет продолжительность светового дня, его видимый диапазон излучения, обеспечивает непосредственную связь организма с окружающим миром, давая до 90% информации о нем. Но современному человеку не хватает дневного естественного света. Значительная часть работы и отдыха человека протекает при искусственном освещении.

***Влияние естественной радиации.*** Естественные источники излучения можно подразделить следующим образом: внешние источники внеземного происхождения (космическое излучение); источники земного происхождения (естественные радионуклиды).

Из космического пространства земную атмосферу непрерывно атакует поток ядерных частиц очень высоких энергий, состоящий из примерно 90% протонов и около 10% альфа-частиц. Это так называемое первичное космическое излучение. Воздействуя на ядра нуклидов, входящих в состав земной атмосферы, первичное космическое излучение инициирует целый каскад ядерных превращений, в результате которого образуются различного типа элементарные частицы и гамма-излучение. Это так называемое вторичное космическое излучение. У поверхности земли (до высоты порядка 25 км) доза внешнего облучения обусловлена, в основном, гамма-излучением.

С удалением от поверхности земли интенсивность космического излучения возрастает (рис. 2.3). Поэтому дозовая нагрузка на людей, проживающих в горной местности, в несколько раз больше, она равна примерно 0,7 и 5,0 мЗв в год соответственно на высотах 2 и 4—5 км. На высоте полетов современных самолетов уровень космического излучения в несколько десятков раз больше, чем на уровне моря.

К основным естественным радионуклидам, излучение которых формирует природный радиационный фон, относятся:  $U^{238}$ ,  $U^{235}$  и  $Th^{232}$ , а также один из продуктов распада  $U^{238}$  — радон ( $Ra^{226}$ ).

Внешнее облучение обусловлено радионуклидами, содержащимися в почве и горных породах, внутреннее — радионуклидами, содержащимися в воздухе, воде и продуктах питания. Средняя доза облучения населения России составляет 3,4 мЗв/чел. в год.

### **Рис. 2.3. Уровни космического излучения на различных высотах**

**Массообмен человека.** В процессе жизнедеятельности человек потребляет: кислород из атмосферы при дыхании, воду питьевую и воду, содержащуюся в продуктах питания, пищевые вещества, содержащиеся в продуктах питания, — белки, жиры и углеводы. К качеству потребляемых веществ предъявляются определенные требования. В биохимических реакциях организма пищевые вещества окисляются кислородом, выделяя энергию, необходимую для жизнедеятельности человека. Полученная энергия используется на работу внутренних органов, на механическую мышечную работу человека и переходит в тепло, которое организм выделяет в окружающую среду.

Все продукты реакций, а также потребленная человеком из внешней среды вода полностью выделяются организмом в окружающую среду: углекислый газ удаляется в атмосферу при дыхании; шлаковые вещества выводятся вместе с потребленной водой в виде отходов жизнедеятельности, часть воды выделяется путем испарения в атмосферу через кожу и через легкие при дыхании.

В сутки человеку требуется в среднем 1,75 кг пищи (из них твердых веществ около 0,6 кг), 7,3 л воды (2,5 л питьевой и 4,8 л технической) и 0,9 кг кислорода. Вместе с питьем и пищей получается около 3,5 л жидкости в день (для климата средней полосы России при минимальной физической нагрузке). При нагрузке средней тяжести необходимо до 5 л, при тяжелой работе на воздухе — до 6,5 л жидкости в день.

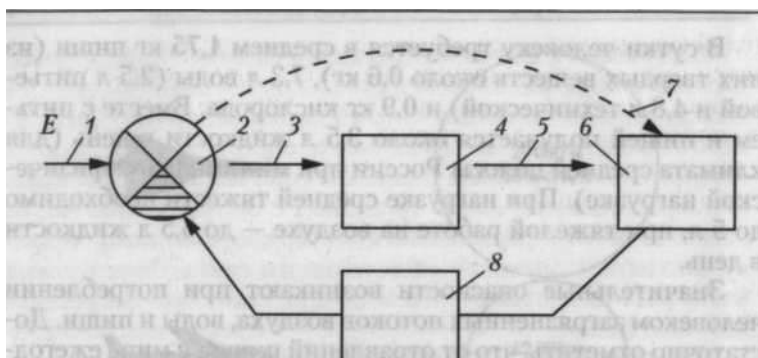
Значительные опасности возникают при потреблении человеком загрязненных потоков воздуха, воды и пищи. Достаточно отметить, что от отравлений пищей в мире ежегодно умирают около 2 млн чел.

**Информационный обмен человека.** Взаимосвязь человека с любой системой (в том числе технической) может быть описана через информационную модель, которая объединяет сенсорное и сенсомоторное поля. К сенсорному (чувствительному) полю информационной модели относят комплекс сигналов, которые воспринимаются человеком непосредственно от системы (шум, вибрация, ЭМП и т.д.) и из ряда сигнальных показаний приборов, индикаторов и т.п. К сенсомоторному полю относят комплекс сигналов от органов управления — рычагов, ручек, кнопок и т.д.

Информационная совместимость означает соответствие возможностей человека по приему и переработке потока закодированной информации и эффективного положения управляющих воздействий в системе.

Реакция человека на любое внешнее воздействие (раздражение) и превращение ее в защитное действие хорошо прослеживаются на схеме рефлекторной дуги (рис. 2.4). Согласно этой схеме энергия раздражителя поступает на рецепторы человека и далее по нервным волокнам в виде нервных импульсов передается в центральную нервную систему (ЦНС). В коре головного мозга — высшем органе ЦНС — информация анализируется и по нервным волокнам передается к исполнительным органам человека для компенсации внешнего воздействия. Результат компенсационного действия передается по обратной связи на рецептор.

Датчиками системы восприятия внешних воздействий являются структурные нервные образования, называемые *рецепторами*. Они представляют собой окончания чувствительных нервных волокон, способные возбуждаться при действии раздражителя. Часть из них воспринимают изменения в окружающей среде, а часть — во внутренней среде



**Рис. 2.4.** Схема рефлекторной дуги:

**1 — энергия  $E$  раздражителя (сигнал, информация); 2 — рецептор; 3 — нервные волокна; 4 — ЦНС; 5 — нервные волокна; 6 — исполнительный орган; 7 — путь безусловного рефлекса; 8 — обратная связь**

организма. Согласно классификации по характеру ощущений различают зрительные, слуховые, обонятельные, осязательные рецепторы, рецепторы боли, рецепторы положения тела в пространстве.

При длительном воздействии раздражителя происходит адаптация рецептора и его чувствительность снижается, однако, когда действие раздражителя прекращается, чувствительность растёт снова. Для адаптации рецепторов нет одного общего закона. Различают быстро адаптирующиеся (например, барорецепторы) и медленно адаптирующиеся рецепторы (фоторецепторы).

Полученная рецепторами информация, закодированная в нервных импульсах, передается по нервным путям в центральные отделы нервной системы и используется для координирующей работы органов. Иногда поступающая информация непосредственно переключается на органы. Такой принцип переработки информации заложен в основу многих безусловных рефлексов (врожденных, наследственно передающихся). Например, сокращение мышц конечностей, раздражаемых электрическим током, теплотой или химическими веществами, вызывает реакцию удаления конечности от раздражителя. При длительном воздействии раздражителя на основе приобретенного опыта формируются условные рефлексy.

Человек обладает рядом специализированных периферийных образований — органов чувств, обеспечивающих восприятие действующих на организм внешних раздражителей (из окружающей среды). К таким образованиям относятся органы слуха, зрения, обоняния, вкуса, осязания. Не следует смешивать понятия «орган чувств» и «рецептор», например глаз — орган зрения, а сетчатка — фоторецептор, один из компонентов органа зрения. Помимо сетчатки в состав органа зрения входят преломляющие среды глаза, различные его оболочки, мышечный аппарат.

Понятие «орган чувств» в значительной мере условно, так как сам по себе он не может обеспечить ощущение. Для возникновения субъективного ощущения необходимо, чтобы возбуждение возникло на рецепторах и поступило в центральную нервную систему.

С помощью органов чувств человек получает обширную информацию от окружающем мире. Количество информации принято измерять в битах. В табл.

2.3 приведены максимальные скорости передачи информации, принимаемой человеком с помощью различных органов чувств и их рецепторов для передачи к коре больших полушарий.

Нервная система человека подразделяется на ЦНС, включающую головной и спинной мозг, и периферическую (ПНС), которую составляют нервные волокна и узлы, лежащие вне ЦНС. Нервная система функционирует по принципу рефлекса. Рефлексом называют любую ответную реакцию организма на раздражение из окружающей или внутренней среды, осуществляющуюся с участием ЦНС.

**Таблица 2.3**

**Характеристика органов чувств по скорости передачи информации**

Воспринимаем	Характеристика	Максимальная
Зрительный	Длина линии	3,25
	Цвет	3,1
	Яркость	3,3
Слуховой	Громкость	2,3
	Высота тона	2,5
Вкусовой	Соленость	1,3
Обонятельный	Интенсивность	1,53
Тактильный	Интенсивность	2,0
	Продолжительность	2,3
	Расположение на	2,8

Защитные функции организма, преимущественно двигательные, реализуются через мозг и его память. И только когда там не найдено адекватной программы реакции на сигнал, подключается сознание, прежде всего проявляя стереотипность мышления.

Человек обладает долговременной и кратковременной (оперативной) памятью. Объем долговременной памяти составляет  $10^{21}$  бит, а кратковременная память имеет малую емкость — 50 бит. Поскольку воспоминание, т.е. обращение в долговременную и кратковременную память, подвергается воздействию большого числа внешних факторов, то результат его носит во многом случайный характер. Хранение представлений в памяти тоже может видоизменяться вследствие стирания отдельных элементов информации или возникновения новых, отсутствующих в оригинале.

Процесс сознательного поиска решения очень медленный и малопригодный в экстремальных быстроразвивающихся ситуациях. Вероятность того, что человек быстро найдет нужное решение в процессе мышления, невелика. Основной путь подготовки человека к действиям в конкретных защитных ситуациях

состоит в постоянном обучении и тренировке с целью перевода действий на уровень стереотипов.

**Стереотип** — это устойчиво сформировавшаяся в прежнем осознанном опыте рефлекторная дуга, выводимая в пограничную зону «сознание — подсознание».

Чем чаще идут одинаковые импульсы, тем прочнее становится система их передачи от рецептора к исполнительному органу. При этом вероятность определения двигательной реакции на определенное раздражение нарастает. Однако эта вероятность никогда не сможет достичь единицы в силу существования опасности искажения сигнала в проводящей системе. Следовательно, процесс принятия решения является многовариантным, в том числе и содержащим возможность ошибки. Это обусловлено объективно существующими трудностями вспоминания и выстраивания многовариантных процессов передачи сигналов по рефлекторной дуге. Если в прошлом человека необходимого опыта вообще не было, то решения принимаются методом проб и ошибок. Свобода выбора решений таит в себе потенциальную опасность от вмешательства человека в любой процесс.

Отсюда следует **аксиома о потенциальной опасности деятельности человека**, реакция человека на внешние раздражения может быть ошибочной и сопровождаться антропогенно-техногенными опасностями.

## 2.2. Повседневные естественные опасности

К повседневным абиотическим факторам относятся: *климатические* (атмосферные) факторы (температура и влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление, газовый состав воздуха, осадки, прозрачность атмосферы, излучение Солнца и др.); факторы *водной среды* (температура воды, ее состав, кислотность и др.); *почвенные* факторы (состав, кислотность, температура и др.) и *топографические* факторы (высота над уровнем моря, крутизна склона и др.).

Температура воздуха и излучение Солнца — наиболее важные абиотические факторы. От температуры зависят обмен веществ и жизнь организмов, их географическое распространение. Самая низкая температура  $-89,2^{\circ}\text{C}$  зафиксирована 21 июля 1983 г в Антарктиде. Самым холодным обитаемым местом в мире считается село Оймякон (Якутия, Россия). В 1933 г. здесь фиксировалось  $-68^{\circ}\text{C}$ . Самая высокая температура в тени  $+58^{\circ}\text{C}$  зафиксирована 13 сентября 1922 г. в Ливии.

Реальные температурные условия пребывания человека в атмосферном воздухе могут изменяться в широких пределах: от  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже (работа на открытых площадках в зимних условиях) до  $+40^{\circ}\text{C}$  и выше при пребывании в условиях жаркого климата.

Установлено, что при достижении температурного уровня в  $27\text{—}28^{\circ}\text{C}$  эффективность работы человека снижается, а число ошибок возрастает. Нижняя граница допустимого температурного уровня для работы составляет  $+18^{\circ}\text{C}$ . Известно, что при температуре  $+13^{\circ}\text{C}$  несчастные случаи на производстве происходят на 34% чаще, чем при  $18^{\circ}\text{C}$ .

Отклонения температуры атмосферного воздуха от допустимой и недостаточная освещенность поверхностей солнечным излучением сопровождаются возникновением естественных опасностей, действующих на человека. Отклонения иных абиотических факторов также могут стать причиной возникновения естественных опасностей, но их проявления возникают, как правило, реже и менее значимы для жизнедеятельности человека.

Антропогенные и антропогенно-техногенные опасности

*Антропогенные опасности* — это опасности, связанные с неправильными или несанкционированными действиями людей (групп лиц).

Негативные воздействия отдельного человека на природу и себе подобных ограничены его низкими энергетическими возможностями. Однако влияние человека на окружающий мир многократно возрастает, когда человек взаимодействует с техническими системами или современными технологиями. В этом случае опасности следует называть **антропогенно-техногенными**. Яркими примерами таких опасностей являются катастрофы на ЧАЭС, Саяно-Шушенской ГЭС.

Серьезную угрозу возникновения антропогенно-техногенных опасностей представляет также внезапное или преднамеренное (из-за применения алкоголя, наркотиков или других токсикантов) нарушение трудоспособности и здоровья работающих и, прежде всего, операторов технических систем. В последние годы эти угрозы значительно возросли. В России, по данным официальной статистики на 2010 г., число наркоманов оценивается в 550 тыс. чел., состоящих на диспансерном учете. Но это только те люди, которые официально зарегистрированы и находятся под наблюдением в наркологических диспансерах. А по экспертным оценкам — более 2,5 млн россиян.



Серьезную опасность для человека представляет потребление алкоголя. По данным ВОЗ, в 2003 г. среднегодовое потребление алкоголя россиянами составило 10,3 л 100% безводного спирта на человека в год. Между тем, если этот показатель превышает 8 л, начинается угасание этноса.

Отметим, что апогеем антропогенно-техногенных опасностей являются опасности, возникающие в результате *сознательных* действий человека (терроризм, военные конфликты, сознательное нарушение правил поведения и т.п.). Происхождение таких опасностей во многом носит целевой характер и всегда связано с планируемой деятельностью отдельных личностей или группировок, а уровень опасностей, как правило, является крайне высоким. Эта группа опасностей в учебном пособии не анализируется из-за отличий в их происхождении и из-за смены акцентов на противоположные в системе «источник опасности — объект защиты». В обыденной жизни влияние источника опасности всегда нужно уменьшать, а в рассматриваемом случае — всегда усиливать (оружие, бомбы и т.п.); объекты защиты в обычной жизни всегда оберегают, а в рассматриваемом случае — уничтожают.

#### Техногенные опасности

Техногенные опасности — самый распространенный вид опасностей в современном мире. При анализе их целесообразно классифицировать:

***по времени действия*** на постоянно (периодически) и спонтанно (чрезвычайно) действующие;

***по размерам сфер влияния*** на местные или локальные (человек, группа людей), региональные и глобальные.

***Постоянные локально действующие опасности.*** Постоянные локально действующие опасности, как правило, возникают от избыточных материальных или энергетических потоков (выбросы веществ, шумы, вибрации, ЭМП и т.п. на рабочих местах в зоне эксплуатации средств транспорта и связи, других объектов экономики). Их влияние характеризуется длительным, а иногда и сочетанным действием указанных выше факторов. Рассмотрим их подробнее.

***Вредные вещества.*** К вредным относятся вещества и соединения (далее — вещества), которые могут вызывать заболевания как в процессе контакта с организмом человека, так и в отдаленные сроки жизни настоящих и последующих поколений. Опасность вещества — это возможность возникновения неблагоприятных для здоровья эффектов в реальных условиях производства или иного применения химических соединений.

Химические вредные вещества (органические, неорганические, элементоорганические) в зависимости от их практического использования подразделяются на:

промышленные яды, используемые в производстве, например органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);

ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве, например пестициды;

2.4. Техногенные опасности

66

бытовые химикаты, используемые в виде средств санитарии, личной гигиены;

биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах, у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов);

отравляющие вещества (ОВ), например зарин, иприт, фосген.

Ядовитые свойства могут проявить практически все вещества, но в больших дозах. К ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества подразделяют на чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества, его физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (например, кровью). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также от метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды. Общая токсикологическая классификация вредных веществ приведена в табл. 2.4.

Токсический эффект при действии различных доз и концентраций ядов может проявиться функциональными и структурными изменениями или гибелью организма.

Летальные дозы (**DL**) при введении в желудок или в организм другими путями и смертельные концентрации (**CL**) могут вызывать единичные случаи гибели (минимальные

#### **Таблица 2.4**

#### **Токсикологическая классификация вредных веществ**

Общее токсикологическое	Токсичные вещества
Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм,	Фосфорорганические инсектициды (хлорофос,
Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и не-	Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть и
Общетоксическое действие (гипоксические судороги,	Синильная кислота и ее производные, угарный газ,
Удушающее действие	Оксиды азота и др.
Слезоточивое и раздражающее действие	Пары крепких кислот и щелочей, хлорпикрин
Психотическое действие (нарушение психической	Наркотики

смертельные) или гибель всех организмов. В качестве показателей токсичности пользуются среднесмертельными дозами и концентрациями:  $CI_{50}$  — это показатели абсо-

лютной токсичности. Среднесмертельная концентрация вещества в воздухе  $CL_{50}$  — это концентрация вещества, вызывающая гибель 50% подопытных животных при 2—4-часовом ингаляционном воздействии ( $мг/м^3$ ); среднесмертельная доза при введении в желудок ( $мг/кг$ ) обозначается как  $DL_{50}$ , среднесмертельная доза при нанесении на кожу ( $мг/кг$ ) —  $DL_{50}^k$ .

Отравления (интоксикации) протекают в острой, подострой и хронической формах. **Острой** называется интоксикация, развивающаяся в результате однократного или повторного действия веществ в течение ограниченного периода времени (как правило, до нескольких суток). **Подострой** называется интоксикация, развивающаяся в результате непрерывного или прерываемого во времени (интермитирующего) действия токсиканта продолжительностью до 90 суток. **Хронической** называется интоксикация, развивающаяся в результате продолжительного (иногда годы) действия токсиканта.

Острые отравления чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования и грубых нарушений требований безопасности труда; они характеризуются кратковременностью действия токсичных веществ, не более чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах — при высоких концентрациях в воздухе; ошибочном приеме внутрь; сильном загрязнении кожных покровов. Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при воздействии паров сероводорода высоких концентраций и закончиться гибелью от Паралича дыхательного центра. Оксиды азота вследствие общетоксического

действия могут вызвать развитие комы, судороги, резкое падение артериального давления.

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении яда в организм в относительно небольших количествах. Также отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме. Хронические отравления органов дыхания могут быть следствием перенесенной однократной или нескольких повторных острых\* интоксикаций. К ядам, вызывающим хронические отравления, относятся хлорированные углеводороды, бензол, бензины и др.

Опасность воздействия вредного вещества наступает при превышении его предельно допустимой концентрации (дозы) ( $C > \text{ПДК}$ ).

ПДК — это максимальная концентрация вредного вещества, которая за определенное время воздействия не влияет на здоровье человека и его потомство, а также на компоненты экосистемы и природное сообщество в целом.

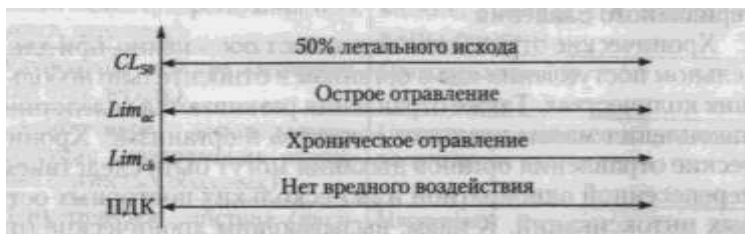
*Порог вредного действия* (однократного острого  $Lim_{oc}$  или хронического  $Lim_{ch}$ ) — это минимальная (пороговая) концентрация (доза) вещества, при действии которой в организме возникают изменения биологических показателей на организменном уровне, выходящие за пределы приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

На рис. 2.5 показана зависимость вида вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии.

О реальной опасности острого отравления можно судить по отношению  $CL^{\wedge}/Lim_{oc}$  \ чем меньше это отношение, тем выше опасность острого отравления. Показателем реальной опасности развития хронической интоксикации является отношение пороговой концентрации (дозы) при однократном воздействии  $Lim_{oc}$  к пороговой концентрации (дозе) при хроническом воздействии  $Lim_{ch}$ . Чем больше отношение  $Lim_{oc}/Lim_{ch}$ , тем выше опасность.

Классификация производственных вредных веществ по степени опасности приведена в табл. 2.5.

Большинство случаев заболеваний и отравлений связано с поступлением токсических газов, паров и аэрозолей в организм человека главным образом через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, поскольку вредные вещества поступают через разветвленную систему легочных альвеол непосредственно в кровь и разносятся по всему организму. Развитие общетоксического действия аэрозолей



**Рис. 2.5.** Зависимость вида вредного воздействия вещества от его концентрации (дозы)

Показатель	Класс опасности			
	первый	второй	третий	четвертый
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10	Более 10
Средняя смертельная доза при введении в желудок $DL_{50}^*$ , мг/кг	Менее 15	15–150	151–5000	Более 5000
Смертельная доза при нанесении на кожу $DL_{50}^*$ , мг/кг	Менее 100	100–500	501–2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация $CL_{50}$ в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Менее 500	500–5000	5001–50 000	Более 50 000

**Таблица 2.5**

### Классификация производственных вредных веществ по степени опасности

в значительной степени связано с размером частиц пыли, так как пыль с частицами размером до 5 мкм (так называемая респирабельная фракция) проникает в глубокие дыхательные пути, в альвеолы, частично или полностью растворяется в лимфе и, поступая в кровь, вызывает интоксикацию. Мелкодисперсную пыль трудно улавливать; она медленно оседает, витая в воздухе рабочей зоны.

Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт возможно при несоблюдении правил личной гигиены: приеме пищи и курении без предварительного мытья рук. Ядовитые вещества могут всасываться уже из полости рта, поступая сразу в кровь. К таким веществам относятся все жирорастворимые соединения, фенолы, цианиды. Кислая среда желудка или слабощелочная среда кишечника могут способствовать усилению токсичности некоторых соединений (например, сульфат свинца переходит в более растворимый хлорид свинца, который легко всасывается). Попадание яда (ртути, меди, цезия, урана) в желудок может быть причиной поражения его слизистой.

Вредные вещества могут попадать в организм человека через поврежденные кожные покровы, причем не только из жидкой среды при контакте с руками, но и в случае высоких концентраций токсических паров и газов в воздухе.

Для гигиенической оценки изолированного действия вредного вещества на человека обычно используется соотношение  $C \leq \text{ПДК}$ .

На производстве и в окружающей среде редко встречается изолированное действие вредных веществ; обычно работающий на производстве подвергается *комбинированному влиянию факторов* одной природы, чаще всего это ряд химических веществ. *Комбинированное действие* — это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления.

Различают несколько типов комбинированного действия ядов: аддитивного, потенцированного, антагонистического, независимого действия.

*Аддитивное действие* — это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется. Для гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия ядов используют уравнение в виде

$C_1 \quad C_2 \quad C_n$

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

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — концентрации каждого вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $\text{ПДК}_1,$

$\text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  — предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м<sup>3</sup>.

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводородов (бензола и изопропилбензола).

При *потенцированном действии* (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше аддитивного, и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора; алкоголь повышает опасность отравления анилином, ртутью и некоторыми другими промышленными ядами. Явление потенцирования обычно проявляется в случае острого отравления.

*Антагонистическое действие* наблюдается, когда эффект комбинированного действия вещества менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект — менее аддитивного.

При потенцировании и антагонизме оценку суммарного эффекта можно проводить с учетом коэффициента комбинированного действия  $K_{ка}$  по формуле

$$\frac{C_1 K_{ка1}}{ПДК_1} + \frac{C_2 K_{ка2}}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n K_{каn}}{ПДК_n} < 1,$$

Примером может служить обезвреживающее взаимодействие между эзерином и атропином.

где  $C_{ад} > 1$  при потенцировании;  $K_{т} < 1$  — при антагонизме;  $1, 2, n$  — номер вещества.

Наряду с комбинированным влиянием ядов возможно их *комплексное действие*, когда яды поступают в организм одновременно но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу и т.д.).

На производстве возможно также *сочетанное действие* вредных факторов разной природы (физических, химических), например вредных веществ и избыточной теплоты или повышенной влажности.

Зоны воздействия вредных веществ различны. В производственных и бытовых условиях они, как правило, ограничены размерами помещения (цех, участок) или контурами рабочего места. В условиях поступления вредных веществ на производственные площадки, территории селитебных, городских и природных зон их влияние определяется параметрами процесса рассеивания веществ в атмосферном воздухе с учетом реальной территориальной обстановки, изменения мощности выбросов веществ по времени и т.п. Расчет рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе рассмотрен в ОНД—86.

**Вибрации** — малые механические колебания, возникающие в упругих тела. В зависимости от способа передачи колебаний человеку вибрацию подразделяют на общую, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и локальную, передающуюся через руки человека. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека, на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, также относится к локальной.

Общую вибрацию рассматривают в частотном диапазоне со среднегеометрическими частотами 1—63 Гц, а локальную в диапазоне 8—1000 Гц. По направлению действия общую вибрацию подразделяют на вертикальную (направленную перпендикулярно опорной поверхности) и горизонтальную (действующую в плоскости, параллельной опорной поверхности).

Вибрация оказывает на организм человека разноплановое действие в зависимости от спектра, направления, места приложения и продолжительности воздействия, а также от индивидуальных особенностей человека. Например, вибрация с частотами ниже 1 Гц вызывает укачивание (морскую болезнь), а слабая гармоническая вибрация с частотой 1—2 Гц вызывает сонливое состояние. Частоты вибрации и соответствующие вредные действия на человека представлены в табл. 2.6.

На рис. 2.6 приведена модель тела человека, состоящая из масс, пружин и демпферов. В такой модели отдельные части тела характеризуются собственными частотами колебаний. При совпадении частоты возбуждения системы с ее собственной частотой возникает явление резонанса, при котором амплитуда колебаний резко возрастает. Так, резонанс органов брюшной полости наблюдается при частотах 4—8 Гц, голова оказывается в резонансе на частоте 25 Гц, а глазные яблоки — на частоте 50 Гц.

Входящие в резонанс органы нередко вызывают болезненные ощущения, связанные, в частности, с растягиванием соединительных образований, поддерживающих вибрирующий орган.

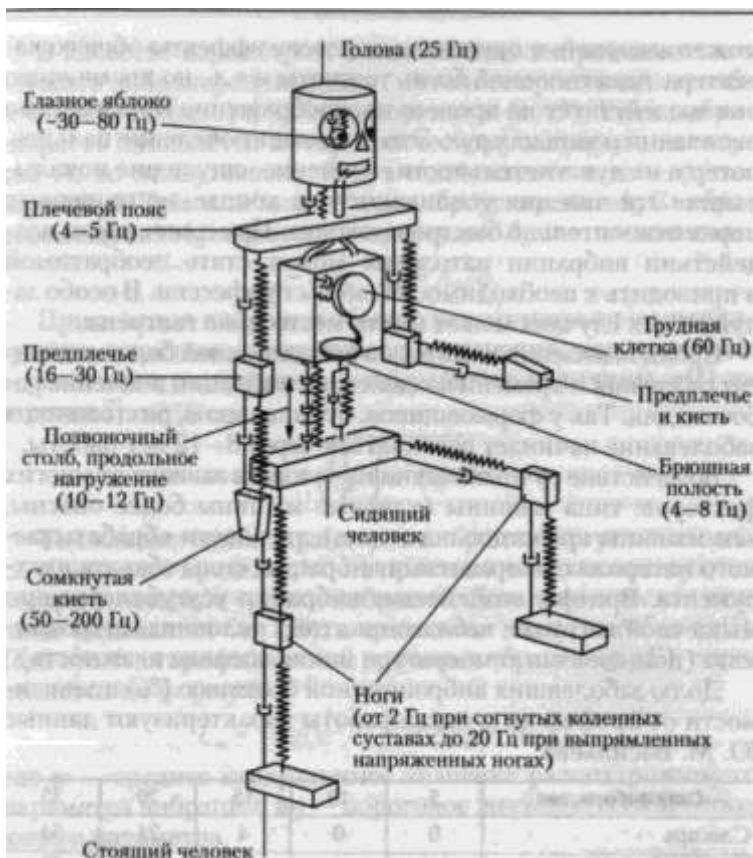
Воздействие вибрации на человека имеет негативные последствия, что послужило основанием для выделения **виб-**

**Таблица 2.6**

**Симптомы и частотные диапазоны вредного воздействия вибрации на человека**

Симптомы действия вибрации	Частота, Гц					
	10 <sup>-1</sup>	1	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Укачивание	■					
Резонансные колебания тела		■	■			
Затрудненное дыхание			■			
Влияние на зрение		■	■			
Влияние на сердечно-сосудистую систему			■	■		
Ухудшение координации рук и опоры на ступни		■				
Ухудшение качества работы человека — оператора		■	■			
Нагревание тканей, разрушение клеток					■	■





73

**Рис. 2.6. Модель тела человека и резонансы отдельных его частей**

*рациональной болезни* в качестве самостоятельного заболевания. Симптомы вибрационной болезни многогранны и проявляются в нарушении работы сердечно-сосудистой и нервной систем, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций опорно-двигательного аппарата.

Колебания сидящего человека на частотах 8—10 Гц являются причиной широкого распространения заболеваний позвоночника. Так у автоводителей-профессионалов, трактористов, пилотов самолетов грыжи межпозвоночных дисков встречаются в несколько раз чаще, чем у лиц сидячих профессий, не подвергающихся вибрации.

При работе с ручными машинами на тело человека через руки передается локальная вибрация. Локальная вибрация может вызывать в организме человека эффекты общего характера типа головной боли, тошноты и т.д., но кроме этого она воздействует на процесс кровообращения и на нервные окончания в пальцах рук. Это вызывает побеление пальцев, потерю их чувствительности, онемение, ощущение покалывания. Эти явления усиливаются на холоде, но на первых порах относительно быстро проходят. При длительном воздействии вибрации патология может стать необратимой и приводить к необходимости смены профессии. В особо запущенных случаях может иметь место даже гангрена.

Сроки появления симптомов вибрационной болезни зависят от уровня и времени воздействия вибрации в течение рабочего дня. Так у формовщиков, бурильщиков, рихтовщиков заболевание начинает развиваться через 8—12 лет работы.

Воздействие ручных машин на человека зависит от многих факторов: типа машины (ударные машины более опасны, чем машины вращательного типа), твердости обрабатываемого материала, направления вибрации, силы обхвата инструмента. Вредное воздействие вибрации усугубляется при мышечной нагрузке, неблагоприятных условиях микроклимата (пониженная температура и повышенная влажность).

Долю заболевших вибрационной болезнью (%) в зависимости от профессии и стажа работы характеризуют данные Ю. М. Васильева:

Стаж работы, лет	5	10	15	20	25
Слесарь	0	0	4	21	54
Формовщик	0,5	2,3	14	40	72
Обрубщик	0	11	49	86	89

На практике обычно имеют дело со смешанной вибрацией, содержащей как периодические, так и случайные компоненты.

Простейшим видом колебательных процессов являются гармонические колебания. При этом колеблющаяся величина  $w$ , представляющая собой параметр колебаний, изменяется во времени  $t$  по гармоническому закону

$$W(t) = A_w \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $A_w$ ,  $\varphi$  — амплитуда и фаза колебаний;  $\omega$  — круговая частота ( $\omega = 2\pi/\Gamma$ ;  $\Gamma = 1/T$  — циклическая частота;  $\Gamma$  — период колебаний). Циклическую частоту  $\omega$  измеряют в герцах (Гц), а угловую частоту  $\omega$  — в рад/с.

В качестве параметров, оценивающих вибрацию, может служить виброперемещение  $u$  (м) или ее производные: виброскорость  $v$  (м/с) и виброускорение  $a$  (м/с<sup>2</sup>). Если виброскорость изменяется по гармоническому закону с амплитудой  $A$ , то этому закону будут подчиняться и два других параметра. При этом амплитуды виброускорения  $A_a$  и виброперемещения  $A_u$  связаны с амплитудой  $A_v$  соотношениями

$$A_a = \omega A_v; A_u = A_v / \omega$$

При анализе вибрации обычно рассматривают не амплитудные, а средние квадратические значения, определяемые осреднением по времени колеблющейся величины  $w(t)$  на отрезке  $T$ :

$$w = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T w^2(t) dt}$$

Так как значения параметров вибрации могут изменяться в широких пределах, то на практике часто используются логарифмические уровни вибрации. Логарифмическая единица называется бел (Б), а ее десятая часть децибел (дБ). При этом логарифмический уровень вибрации (в дБ), определяется по формуле

$$L_w = 10 \lg(w^2/w_0^2) = 20 \lg(w/w_0),$$

где  $w$  — среднее квадратичное значение рассматриваемого параметра вибрации;  $w_0$  — пороговое значение соответствующего параметра.

Для виброскорости пороговое значение равно  $5 \cdot 10^8$  м/с.

При анализе вибрации с широким спектром целесообразно разбить ось частот на отрезки (полосы частот) и вычислять уровни вибраций для каждой такой полосы. С этой целью используются специальные фильтры, полоса пропускания которых определяется граничными частотами  $F_H$  и  $F_B$ . Как правило, это октавные фильтры, для которых отношение  $F_B/F_H = 2$ , или третьоктавные фильтры с полосой в три раза более узкой.

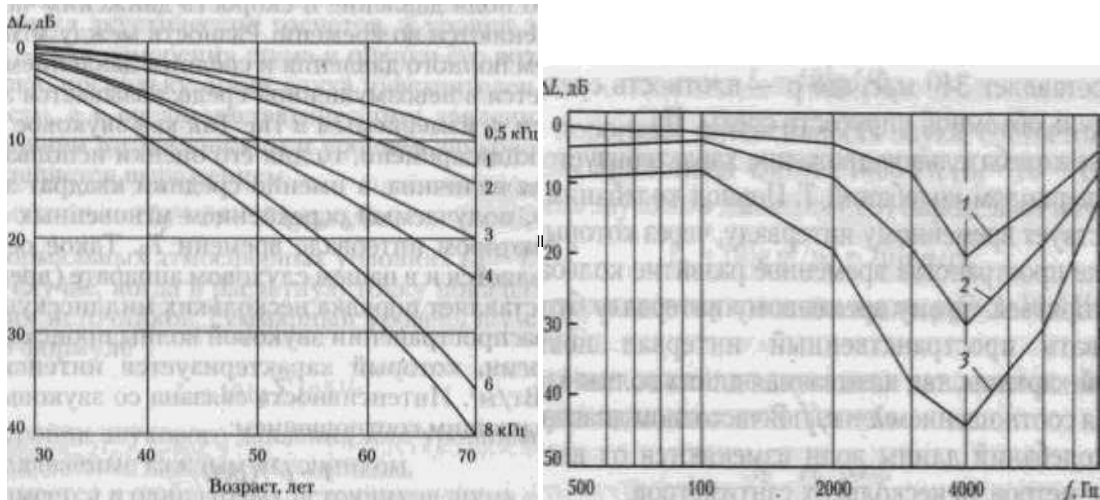
Для октавных полос получены следующие значения средних геометрических частот:  $F_{cr} = 1, 2, 4, 8, 16, 31, 5, 63, 125, 250, 500, 1000$  Гц. Верхние и нижние частоты октавных полос определяются следующими соотношениями

$$f_H = f_{cr}/\sqrt{2} \quad \text{и} \quad f_B = \sqrt{2} f_{cr}$$

*Акустический шум* — беспорядочные звуковые колебания в атмосфере. Понятие акустического шума связано со звуковыми волнами (звуками), под которыми понимают распространяющиеся в окружающей среде и воспринимаемые ухом человека упругие колебания в частотном диапазоне от 20 Гц до 20 кГц.

Шум оказывает влияние на весь организм человека. Шум с уровнем звукового давления до 30—35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40—70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия, а при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 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.



Шумовое воздействие, сопровождающееся повреждением слухового анализатора, проявляется медленно прогрессирующим снижением слуха. У некоторых лиц серьезное шумовое повреждение слуха может наступить уже в первые месяцы воздействия, у других — потеря слуха развивается постепенно. 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.

Результаты воздействия повышенного производственного шума приведены в табл. 2.7.

Результаты оценки потери слуха ( $\Delta L$ ) у ткачих приведены на рис. 2.7.

Промышленный шум является не единственной причиной потери слуха. Помимо этого необратимые потери слуха наступают и с увеличением возраста (рис. 2.8). Обычно это явление начинается в возрасте приблизительно 30 лет у мужчин и 35 лет у женщин с потери чувствительности слуха к высоким частотам. С годами оно распространяется

Таблица 2.7

Влияние шума на работающих

Эквивалентный	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	10	10	<b>10</b>	11	11	110
Стаж работы, лет	25	5	15	25	5	15	25	5	15	25
Доля заболевших	0	4	14	17	12	37	43	26	71	78

на более низкие частоты, достигая речевого диапазона 500— 3000 Гц.

Звуковые волны возникают при нарушении стационарного состояния среды вследствие наличия в ней какого-либо возмущающего воздействия. Скорость, с которой распространяется звуковая волна, называется скоростью звука.

Скорость

звук

звук

с, м/с, зависит только от характеристик среды распространения и может изменяться в очень широких пределах  $c = \sqrt{K/\rho}$ . В воздухе при температуре 20°C скорость звука составляет 340 м/с, где  $\rho$  — плотность среды кг/м<sup>3</sup>,  $K$  — модуль объемной упругости среды, Па.

Любое колебательное движение характеризуется частотой  $f$  и периодом колебаний  $T$ . Период колебаний  $T = 1/f$  соответствует временному интервалу, через который в каждой точке пространства временное развитие колебаний будет повторяться. Этому временному интервалу будет соответствовать пространственный интервал повторения волновой картины, так называемая длина волны  $\lambda$ , м, определяемая соотношением  $\lambda = c/f$ . В частотном диапазоне звуковых колебаний длины волн изменяются от нескольких десятков метров до нескольких сантиметров.

Область пространства, в которой распространяются звуковые волны, называется звуковым полем. В каждой точке звукового поля давление и скорость движения частиц воздуха изменяются во времени. Разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в невозмущенной среде, называется звуковым давлением  $p$ , измеряемым в Па. Так как звуковое давление есть функция времени, то для его оценки используется осредненная величина, а именно средний квадрат звукового давления, получаемый осреднением мгновенных значений

$p^2$  на некотором интервале времени  $T_0$ , Такое осреднение осуществляется и в нашем слуховом аппарате (время осреднения составляет порядка нескольких миллисекунд).

При распространении звуковой волны происходит перенос энергии, который характеризуется интенсивностью звука  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>. Интенсивность связана со звуковым давлением следующим соотношением:

$$I = p^2 / (\rho c).$$

Величины звукового давления и интенсивности звука, с которыми приходится иметь дело в практике борьбы с шумом, могут меняться в широких пределах:

Рис. 2.8. Потеря слуха на разных частотах в зависимости от возраста

2.4. Техногенные опасности

Рис. 2.7. Потеря слуха у ткачих при стаже работы: 1 — 4 года; 2 — 8 лет; 3 — 16 лет

77

по давлению до  $10^8$  раз, по интенсивности до  $10^{16}$  раз. Оперировать такими цифрами неудобно. Выяснено, что ощущения человека, возникающие при различного рода раздражениях, в частности при шуме, пропорциональны логарифму количества энергии раздражителя. Поэтому были введены логарифмические величины — уровни звукового давления и интенсивности.

Уровень интенсивности звука (дБ) определяют по формуле

$$L_I = 10 \lg I/I_0,$$

где  $I_0$  — пороговая интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости на частоте 1000 Гц ( $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>).

Уровень звукового давления (дБ) определяют по формуле

$$L_p = 10 \lg p^2/p_0^2 = 20 \lg p/p_0,$$

где  $p_0$  — пороговое звуковое давление,  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па на частоте 1000 Гц.

Пороговые значения звукового давления и интенсивность звука связаны соотношением

$$I_0 = p_0^2/\rho_0 c_0,$$

где  $\rho_0$ ,  $c_0$  — плотность воздуха и скорость звука при нормальных атмосферных условиях.

Величину уровня интенсивности применяют при получении формул акустических расчетов, а уровня звукового давления — для измерения шума и оценки его воздействия на человека, поскольку орган слуха чувствителен не к интенсивности, а к среднеквадратическому давлению. Связь между уровнем интенсивности и уровнем звукового давления определяется выражением

$$L_p = L_I - 10 \lg \rho_0 c_0/\rho c.$$

При нормальных атмосферных условиях  $L_p = L_I$ .

В том случае, когда в расчетную точку попадает шум от нескольких источников, суммарный уровень шума определяется по формуле

$$L = 10 \lg \sum 10^{0,1 L_j},$$

где  $L_j$  — уровни звукового давления или уровни интенсивности, создаваемые каждым источником.

Если имеется  $n$  одинаковых источников шума с уровнем звукового давления  $L$ , создаваемым каждым источником, то суммарный уровень шума (дБ) составляет

$$L_\Sigma = L + 10 \lg n.$$

Из этой формулы видно, что два одинаковых источника совместно создадут уровень на 3 дБ больший, чем каждый источник в отдельности.

Шумы принято классифицировать по их спектральным и временным характеристикам. В зависимости от характера спектра шумы бывают тональными, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона, и широкополосными — с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По временным характеристикам шумы подразделяют на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБА, и непостоянные, для которых это изменение более 5 дБА. В свою очередь, непостоянные шумы делят на колеблющиеся во времени, прерывистые и импульсивные.

В табл. 2.8 приведены показатели звукового давления и уровни, создаваемые характерными источниками шума.

При воздействии ударной волны на человека и животных считается безопасным избыточное давление во фронте ударной волны 10 кПа и менее. Легкие поражения (звон в ушах, головокружение, головная боль) наступают при избыточном давлении 20—40 кПа. Поражения средней тяжести (контузии головного мозга, повреждения органов слуха, кровотечения из носа и ушей) возникают при избыточном давлении 40—60 кПа.

Любой источник шума характеризуется, прежде всего, звуковой мощностью. Звуковая мощность источника  $P$  — это общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство за единицу времени. Если окружить источник шума замкнутой поверхностью площадью  $S$ , то звуковая мощность  $P$  источника (Вт) составит

$$P = \int I_n dS,$$

где  $I_n$  — нормальная к поверхности составляющая интенсивности.

Таблица 2.8

Показатели звукового поля некоторых источников шума

Звуковое давление, Па	Уровень звука,	Источники шума и расстояние до
2000	160	Старт баллистической ракеты, 100 м
200	140	Взлет реактивного самолета, 15 м
20	120	В штамповочном цехе
2	100	Отбойный молоток, 1 м
0,2	80	Автомобиль, 7 м
0.02	60	Обычная речь, 1 м
0,002	40	В читальном зале

0,0002	20	Шепот, 1 м
--------	----	------------

Если считать источник шума точечным, то величину средней интенсивности звука на поверхности этой сферы ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) можно определять по формуле

$$I_{\text{ср}} = P/4\pi r^2.$$

Это выражение предполагает излучение шума по всем направлениям одинаковым, что справедливо для точечного источника, размеры которого малы по сравнению с излучаемыми им волнами. Однако источники шума часто излучают звуковую энергию неравномерно по всем направлениям, т.е. обладают определенной направленностью излучения. Эта неравномерность излучения характеризуется коэффициентом  $\Phi$  — фактором направленности, показывающим отношение интенсивности звука, создаваемой направленным источником в данной точке  $I$ , к интенсивности  $I_{\text{ср}}$ , которую развил бы в этой же точке источник, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук в сферу одинаково. Фактор направленности рассчитывают по формуле

$$\Phi = I/I_{\text{ср}} = p^2/p_{\text{ср}}^2.$$

Шумовыми характеристиками, которые указываются в прилагаемой к машине технической документации, являются:

уровни звуковой мощности шума  $L_p$  в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц;

характеристики направленности излучения шума машиной.

Уровни звуковой мощности  $L_p$  (дБ) устанавливают по аналогии с уровнем интенсивности звука:

$$L_p = 10 \lg P/P_0$$

где  $P$  — звуковая мощность, Вт;  $P_0$  — пороговая звуковая мощность,  $P_0 = 10^{-12}$  Вт.

Проведение акустических расчетов необходимо для оценки ожидаемых уровней шума на рабочих местах или, например, в районе жилой застройки. Это позволяет еще на стадии проектирования разработать такие мероприятия, чтобы этот шум не превышал допустимые уровни. Задачи акустического расчета — это:

определение шума в расчетной точке по заданным характеристикам источника шума;

расчет необходимого снижения шума.



В зависимости от того, где находится расчетная точка — в открытом пространстве или в помещении, — применяют различные расчетные формулы.

При действии источника шума со звуковой мощностью  $P$  (рис. 2.9) интенсивность шума  $I$  в расчетной точке открытого пространства определяется выражением

$$I = P\Phi / (kS),$$

где  $\Phi$  — фактор направленности;  $S$  — площадь поверхности, проходящая через расчетную точку, на которую распределяется излучаемая звуковая энергия.

В частности, для полусферы это соответствует площади поверхности  $S = 2\pi r^2$  (здесь  $r$  — расстояние между источни

ком звука и точкой наблюдения);  $k$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз ослабевает шум на пути распространения при наличии препятствий и затухания в воздухе,  $k > 1$ . Если в атмосферном воздухе расстояние от источника до расчетной точки не более 50 м, то можно считать, что  $k = 1$ .

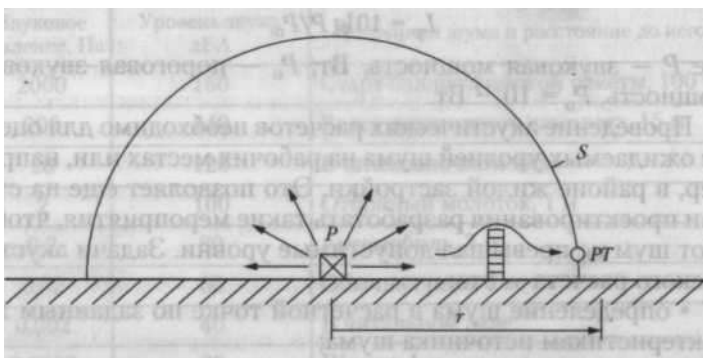
В логарифмической форме выражение для определения интенсивности шума  $L_{on}$  в расчетной точке открытого пространства можно записать в виде

$$L_{on} = L_p + 10 \lg \Phi - 10 \lg S/S_0,$$

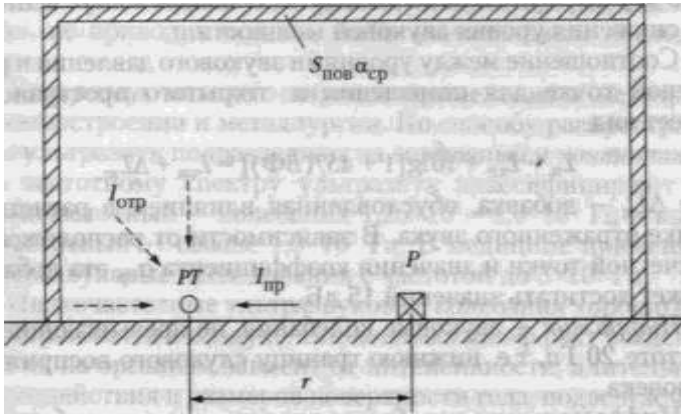
где  $S_0 = 1 \text{ м}^2$ .

В домах к шуму, проникающему снаружи, добавляется еще и структурный шум, распространяющийся по стенам и конструкциям. Он появляется при работе лифта, насосов, при проведении ремонтов и т.п.

При работе источника шума в помещении звуковые волны многократно отражаются от стен, потолка и различных предметов. Отражения могут увеличить шум в помещениях



**Рис. 2.9.** Расчет шума для открытого пространства



**Рис. 2.10.** Расчет уровня шума в помещении

на 10—15 дБ по сравнению с шумом того же источника на открытом воздухе.

Интенсивность звука  $I$  в расчетной точке помещения (рис. 2.10) складывается из интенсивности прямого звука  $I_{пр}$ , идущего непосредственно от источника, и интенсивности отраженного звука  $I_{отр}$ :

$I = I_{пр} + I_{отр} = (P\Phi/S) + (4P/B)$ , где  $B$  — постоянная помещения,  $B = A(1 - \alpha_{ср})$ ;  $A$  — эквивалентная площадь поглощения,  $A = \alpha_{ср}S_{пов}$ ;  $\alpha_{ср}$  — средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей помещения площадью  $S_{пов}$ . Коэффициент звукопоглощения  $\alpha = I_{погл}/I_{пад}$ , где  $I_{погл}$  и  $I_{пад}$  — соответственно интенсивность поглощенного и падающего звука. Величина  $\alpha \leq 1$ .

Вблизи источника шума его уровень определяется в основном прямым звуком, а при удалении от источника — отраженным. В производственных помещениях величина  $\alpha_{ср}$  редко превышает 0,3—0,4. В этих случаях постоянная помещения  $B$  может быть без больших погрешностей принята равной эквивалентной площади звукопоглощения  $A$ , т.е.  $B \approx A$ .

Выражение для определения уровня звукового давления  $L_n$  в расчетной точке помещения в логарифмической форме имеет вид

$$L_n = L_p + 10 \lg(\Phi/S + 4/B).$$

Если источник шума и расчетную точку разделяют какие-либо препятствия, например перегородки, кабины и т.п.,

то в эту формулу нужно добавить со знаком минус величину снижения уровня звуковой мощности.

Соотношение между уровнями звукового давления в расчетной точке для помещения и открытого пространства имеет вид

$$L_n = L_{сн} + 10 \lg[1 + 4S/(BФ)] = L_{он} + \Delta L_m$$

где  $\Delta L_m$  — добавка, обусловленная влиянием в расчетной точке отраженного звука. В зависимости от расположения расчетной точки и значения коэффициента  $\alpha_{ср}$  эта добавка может достигать значений 15 дБ.

2.4. Техногенные опасности

83

*Инфразвук* — звуковые колебания, не превышающие по частоте 20 Гц, т.е. нижнюю границу слухового восприятия человека.

Инфразвуковые колебания возникают в разнообразных условиях и могут быть обусловлены как природными явлениями, например обдуванием ветром зданий, металлических конструкций, так и работой различных машин и механизмов. Высокие уровни инфразвука возникают вблизи работающих виброплощадок, внутри салонов автомобилей, движущихся со скоростями порядка 100 км/ч. Существует множество природных источников инфразвука: извержение вулканов, смерчи, штормы. Известно, что перед землетрясением люди и особенно животные испытывают чувство беспокойства. Штормы также оказывают на людей негативное воздействие.

Инфразвук даже небольшой мощности действует болезненно на уши, заставляет колебаться внутренние органы, поэтому человеку кажется, что внутри него все вибрирует. Именно инфразвуки, по всей видимости, являются одной из главных причин тяжелой и непреходящей усталости жителей городов и работников шумных предприятий. Воздействие инфразвука может приводить к ощущению головокружения, вялости, потери равновесия, тошноты. Было установлено, что летчики и космонавты, подвергнутые действию инфразвука, решали простые арифметические задачи медленнее, чем обычно.

Можно выделить две наиболее опасные для человека зоны воздействия инфразвука, определяемые его уровнем и временем воздействия.

Первая зона — смертельное воздействие инфразвука при уровнях, превышающих 185 дБ с экспозицией свыше 10 мин.

Вторая зона — действие инфразвука с уровнями от 185 до 145 дБ — вызывает эффекты, явно опасные до человека.

Действие инфразвука с уровнями ниже 120 дБ, как правило, не приводит к каким-либо значительным последствиям.

*Ультразвук* находит широкое применение в медицине, машиностроении и металлургии. По способу распространения ультразвук подразделяют на *воздушный* и *контактный*. По частотному спектру ультразвук классифицируют на: низкочастотный — колебания  $1,25 \cdot 10^4$ — $1,0 \cdot 10^5$  Гц и высокочастотный — свыше  $1,0 \cdot 10^5$  Гц. В медицине применяют ультразвуковые исследования с частотой до  $3 \cdot 10^6$  Гц.

Низкочастотные ультразвуковые колебания хорошо распространяются в воздухе. Биологический эффект воздействия их на организм зависит от интенсивности, длительности воздействия и размеров поверхности тела, подвергаемого действию ультразвука. Длительное систематическое влияние ультразвука, распространяющегося в воздухе, вызывает функциональные нарушения нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. У работающих на ультразвуковых установках отмечают выраженную сосудистую гипотонию, снижение электрической активности сердца и мозга. Изменения ЦНС в начальной фазе проявляются нарушением рефлекторных функций мозга (чувство страха в темноте в ограниченном пространстве, резкие приступы с учащением пульса, чрезмерной потливостью, спазмы в желудке, кишечнике, желчном пузыре). Наиболее характерны жалобы на резкое утомление, головные боли и чувство давления в голове; затруднения при концентрации внимания, торможение мыслительного процесса, бессонницу.

Контактное воздействие высокочастотного ультразвука на руки приводит к нарушению капиллярного кровообращения в кистях рук, снижению болевой чувствительности. Установлено, что ультразвуковые колебания могут вызвать изменения костной структуры с разрежением плотности костной ткани. При контактной передаче ультразвука на руки зарегистрированы профессиональные заболевания.

*Неионизирующие электромагнитные поля и излучения.* Электромагнитное взаимодействие характерно для заряженных частиц. Переносчиком энергии между такими частицами являются фотоны электромагнитного поля или излучения. Длина электромагнитной волны ( $\lambda$ ) в воздухе связана с ее частотой  $f$  (Гц) соотношением  $\lambda f = c$ , где  $c$  — скорость света.

Электромагнитные поля и излучения разделяют на *неионизирующие*, в том числе лазерное излучение, и *ионизирующие*. Неионизирующие электромагнитные поля (ЭМП) и излучения (ЭМИ) имеют спектр колебаний с частотой до  $10^{21}$  Гц.

Неионизирующие электромагнитные поля естественного происхождения являются постоянно действующим фактором. К ним относятся: атмосферное электричество, радиоизлучения Солнца и галактик, электрические и магнитные поля Земли.

В условиях техносферы действуют также неионизирующие техногенные источники электрических и магнитных полей и излучений. Их классификация приведена в табл. 2.9.

Применение техногенных ЭМП и ЭМИ различных частот систематизировано в табл. 2.10.

Основными источниками электромагнитных полей радиочастот являются радиотехнические объекты (РТО), телевизионные и радиолокационные станции (РЛС), термические цехи и участки (в зонах, примыкающих к предприятиям). ЭМП промышленной частоты чаще всего связаны с высоковольтными линиями (ВЛ) электропередачи, источниками магнитных полей, применяемыми на промышленных предприятиях.

Зоны с повышенными уровнями ЭМП, источниками которых могут быть РТО и РЛС, имеют размеры до 100—150 м.

Таблица 2.9

**Классификация неионизирующих техногенных излучений**

		Показатель		
		диапазон частот	длина волны	
Статиче-	Электри	-	—	
	Магнитно	-	-	
Электромагнитное поле	Электромагнитное поле	50 Гц	■	
	радиочастотного	Электромагнитное поле	От 10 кГц до 30 кГц	$30 \text{ км} < \lambda < 10$
		Электромагнитное поле	От 30 кГц до 3 МГц	$100 \text{ м} < \lambda < 10$
		Электромагнитное поле	От 3 МГц до 30 МГц	$10 \text{ м} < \lambda < 100$
		Электромагнитное поле	От 30 МГц до 50 МГц	$6 \text{ м} < \lambda < 10 \text{ м}$
		Электромагнитное поле	От 50 МГц до 300 МГц	$1 \text{ м} < \lambda < 6 \text{ м}$
Электромагнитное поле	От 300 МГц до 300 ГГц	$1 \text{ мм} < \lambda < 1 \text{ м}$		

Таблица 2.10

**Применение электромагнитных полей и излучений**

Частота	Технологический процесс, установка,
> 0 до 300 Гц	Электроприборы, в том числе бытового назначения, высоковольтные линии электропередачи, трансформаторы и

0,3—3 кГц	Радиосвязь и электропередачи,
3—30 кГц	Сверхдлинноволновая радиосвязь, индукционный нагрев металла (закалка),
30—300 кГц	Радионавигация, связь с морскими и воздушными судами, длинноволновая радиосвязь, индукционный нагрев,
0,3-3 МГц	Радиосвязь и радиовещание, радионавигация, индукционный и
3-30 МГц	Радиосвязь и радиовещание,
30-300 МГц	Радиосвязь, телевидение, медицина (физиотерапия, онкология),
0,3-3 ГГц	Радиолокация, радионавигация, радиотелефонная связь, телевидение,
3-30 ГГц	Радиолокация и спутниковая связь, метеолокация, радиорелейная связь,
30-300 ГГц	Радары, спутниковая связь,

При этом внутри зданий, расположенных в этих зонах, плотность потока энергии, как правило, превышает допустимые значения.

Значительную опасность представляют магнитные поля, возникающие в зонах, прилегающих к электрифицированным железным дорогам. Магнитные поля высокой интенсивности обнаруживаются даже в зданиях, расположенных в непосредственной близости от этих зон.

В быту источниками ЭМП и излучений являются телевизоры, дисплеи, печи СВЧ и другие устройства. Электростатические поля в условиях пониженной влажности (менее 70%) создают паласы, накидки, занавески и т.д. Микроволновые печи в промышленном исполнении не представляют опасности, однако неисправность их защитных экранов может существенно повысить утечки электромагнитного излучения. Экраны телевизоров и дисплеев как источники электромагнитного излучения в быту не опасны даже при длительном воздействии на человека, если расстояния от экрана превышают 30 см.

Электростатическое поле (ЭСП) полностью характеризуется напряженностью электрического поля  $E$  (В/м). Постоянное магнитное поле (ПМП) характеризуется напряженностью магнитного поля  $H$  (А/м), при этом в воздухе  $1 \text{ А/м} \sim 1,25 \text{ мкТл}$ , где Тл — тесла (единица напряженности магнитного поля).

Электромагнитное поле (ЭМП) характеризуется непрерывным распределением в пространстве, способностью распространяться со скоростью света, воздействовать на заряженные частицы и токи. ЭМП является совокупностью двух взаимосвязанных переменных полей — электрического и магнитного,

<sup>130</sup> которые характеризуются соответствующими векторами напряженности  $E$  (В/м) и  $H$  (А/м).

В зависимости от взаимного расположения источника электромагнитного излучения и места пребывания человека необходимо различать ближнюю зону (зону индукции), промежуточную зону и дальнюю зону (волновую зону) или зону излучения. При излучении от источников (рис. 2.11) ближняя зона простирается на расстояние  $\lambda/2\pi$ , т.е. приблизительно на  $1/6$  длины волны. Дальняя зона начинается с расстояний, равных  $\lambda \cdot 2\pi$ , т.е. с расстояний, равных приблизительно шести длинам волны. Между этими двумя зонами располагается промежуточная зона.

В зоне индукции, в которой еще не сформировалась бегущая электромагнитная волна, электрическое и магнитное поля следует считать независимыми друг от друга, поэтому эту зону можно характеризовать электрической и магнитной составляющими электромагнитного поля. Соотношение между ними в этой зоне может быть самым различным. Для промежуточной зоны характерно наличие как поля индукции, так и распространяющейся электромагнитной волны. Для волновой зоны (зоны излучения) характерно наличие сформированного ЭМП, распространяющегося в виде талика (катаракте), которое обнаруживается не сразу, а через несколько дней или недель после облучения. Развитие катаракты является одним из немногих специфических поражений, вызываемых электромагнитными излучениями радиочастот в диапазоне 300 МГц — 300 ГГц при плотности потока энергии свыше  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Помимо катаракты при воздействии ЭМП возможны ожоги роговицы.

Для длительного действия ЭМП различных диапазонов длин волн при умеренной интенсивности (выше ПДУ) характерным считают развитие функциональных расстройств в ЦНС с нерезко выраженными сдвигами эндокринно-обменных процессов и состава крови. В связи с этим могут появиться головные боли, повышение или понижение давления, снижение частоты пульса, изменение проводимости в сердечной мышце, нервно-психические расстройства, быстрое развитие утомления. Возможны трофические нарушения: выпадение волос, ломкость ногтей, снижение массы тела. Наблюдаются изменения возбудимости обонятельного, зрительного и вестибулярного анализаторов. На ранней стадии изменения носят обратимый характер, при продолжающемся воздействии ЭМП происходит стойкое снижение работоспособности. В пределах радиоволнового диапазона доказана наибольшая биологическая активность микроволнового (СВЧ) поля. Острые нарушения при воздействии ЭМИ (аварийные ситуации) сопровождаются

сердечно-сосудистыми расстройствами с <sup>131</sup> обмороками, резким учащением пульса и снижением артериального давления.

*Лазерное излучение.* В промышленности, медицине, в научных исследованиях, системах мониторинга состояния окружающей среды нашли применение лазеры. Их излучение может оказывать опасное воздействие на организм человека и в первую очередь на орган зрения. Лазерное излучение (ЛИ) генерируется в инфракрасной, световой и ультрафиолетовой областях неионизирующего ЭМИ.

Лазеры, генерирующие непрерывное излучение, позволяют создавать интенсивность порядка  $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>, что достаточно для плавления и испарения любого материала. При генерации коротких импульсов интенсивность излучения достигает величин порядка  $10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup> и больше. Для сравнения отметим, что значение интенсивности солнечного света вблизи земной поверхности составляет всего 0,1—0,2 Вт/см<sup>2</sup>.

В настоящее время в промышленности используется ограниченное число типов лазеров. Это в основном лазеры,

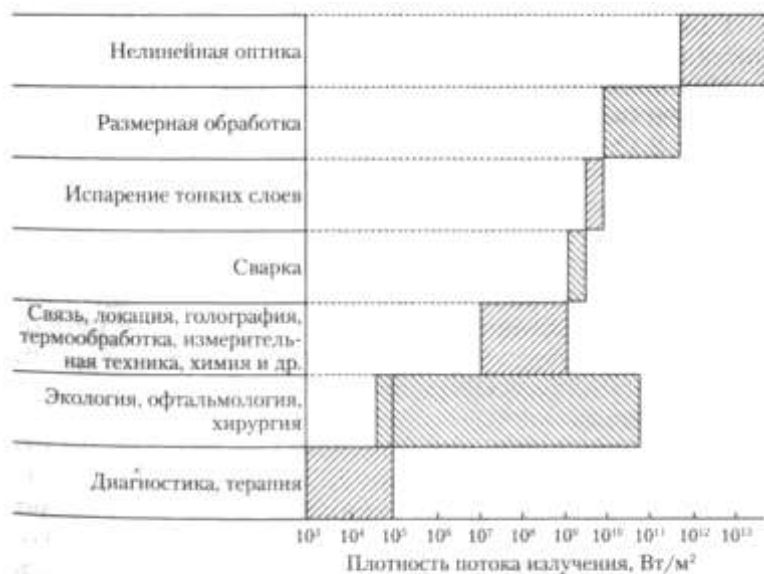
генерирующие излучение в видимом диапазоне спектра ( $\lambda = 0,44—0,59$ ;  $\lambda = 0,63$ ;  $\lambda = 0,69$  мкм), ближнем ИК-диапазоне спектра ( $\lambda = 1,06$  мкм) и дальнем ИК-диапазоне спектра ( $\lambda = 10,6$  мкм).

Области применения лазеров в зависимости от требуемой плотности потока излучения показаны на рис. 2.12.

При оценке неблагоприятного влияния лазеров все опасности разделяют на первичные и вторичные. К первичным относят факторы, источником образования которых является непосредственно сама лазерная установка. Вторичные факторы возникают в результате взаимодействия лазерного излучения с мишенью.

К первичным факторам вредности относятся: лазерное излучение, повышенное электрическое напряжение, световое излучение импульсных ламп накачки или газового разряда, электромагнитное излучение, акустические шумы и вибрация от работы вспомогательного оборудования, загрязнение воздуха газами, выделяющимися из узлов установки, рентгеновское излучение электроионизационных лазеров или электровакуумных приборов, работающих при напряжении свыше 15 кВ.





89

Рис. 2.12. Области применения лазеров в зависимости от требуемой плотности потока излучения

Вторичные факторы включают отраженное лазерное излучение, аэродисперсные системы и акустические шумы, образующиеся при взаимодействии лазерного излучения с мишенью, излучение плазменного факела.

Лазерное излучение может представлять опасность для человека, вызывая в его организме патологические изменения, функциональные расстройства органа зрения, центральной нервной и вегетативной систем, а также влиять на внутренние органы, такие как печень, спинной мозг и др. Наибольшую опасность лазерное излучение представляет для органа зрения. Основным патофизиологическим эффектом облучения тканей лазерным излучением является поверхностный ожог, степень которого связана с пространственно-энергетическими и временными характеристиками излучения.

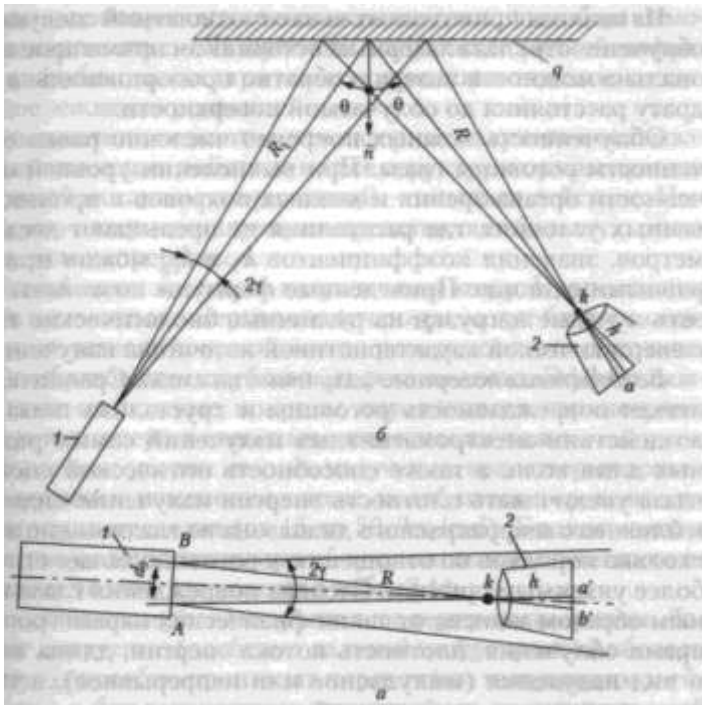
При создании условий для безопасной эксплуатации лазеров прежде всего необходимо расчетом определить лазерно-опасную зону (ЛОЗ) — пространство, в пределах которого уровни лазерного излучения могут превышать предельно допустимые значения, а также основные принципы защиты от излучения и общие требования к организации рабочих мест, методам контроля и дозиметрической аппаратуре ЛОЗ.

Схема расчета облученности роговицы представлена на рис. 2.13.

При прямом облучении для наблюдателя, находящегося непосредственно в конусе узконаправленного лазерного луча (рис. 2.13, а), облученность роговицы глаза вычисляется по формуле

$$E_p = \frac{4\Phi_e k_l}{\pi(d_0 + 2R\gamma)^2},$$

где  $\Phi_e$  — энергетический поток (мощность) лазерного излучения;  $k_l$  — коэффициент ослабления излучения на пути от лазера до роговицы глаза;  $d_0$  — диаметр выходного зрачка лазера;  $\gamma$  — угол расходимости луча, рад;  $R$  — расстояние от лазера до глаза.



**Рис. 2.13.** Схема расчета облученности глаза:

**а** — для прямого пучка; **б** — для отраженного излучения;

**1** — лазер; **2** — глаз

При воздействии на роговицу глаза излучения лазера, отраженного от поверхности (рис. 2.13, б), расположенной на расстоянии  $R$  от выходного отверстия лазера, расчет ведут с учетом отражения. Облученность роговицы глаза наблюдателя  $E_p$ , находящегося на расстоянии  $R$  от поверхности  $q$ , значительно превышающем линейные размеры источника, равна произведению энергетической яркости источника на величину телесного угла, под которым он виден из точки наблюдения, а именно

$$E_p = L_e k_{cp} \frac{S_q \cos \theta}{R^2},$$

где  $k_{cp}$  — коэффициент ослабления излучения на пути от поверхности до наблюдателя.

Поверхность как источник излучения удобно характеризовать энергетической яркостью  $L_e$  и площадью пятна излучения  $S_q$ . При диффузном отражении энергетическая яркость источника связана с энергетическим потоком лазерного излучения соотношением

Из анализа приведенных выше соотношений следует, что облученность глаза лазерным источником прямо пропорциональна мощности лазера и обратно пропорциональна квадрату расстояния до облучаемой поверхности.

Облученность кожных покровов численно равна облученности роговицы глаза. При вычислении уровней облученности органа зрения и кожных покровов в производственных условиях, где расстояния не превышают десятков метров, значения коэффициентов  $k$  и  $k_{cp}$  можно принять равными единице. Приведенные формулы позволяют связать лучевые нагрузки на различные биологические ткани с энергетической характеристикой источника излучения.

*Воздействия лазерного излучения на глаза.* Сравнительно легкая повреждаемость роговицы и хрусталика глаза при воздействии электромагнитных излучений самых различных длин волн, а также способность оптической системы глаза увеличивать плотность энергии излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона на глазном дне на несколько порядков по отношению к роговице делает его наиболее уязвимым органом. Степень повреждения глаза главным образом зависит от таких физических параметров, как время облучения, плотность потока энергии, длина волны и вид излучения (импульсное или непрерывное), а также индивидуальных особенностей глаза.

Воздействие ультрафиолетового излучения на орган зрения в основном приводит к поражению роговицы. Поверхностные ожоги роговицы лазерным излучением с длиной волны в пределах ультрафиолетовой области спектра устраняются в процессе самозаживления.

Для лазерного излучения с длиной волны 0,4—1,4 мкм критическим элементом органа зрения является сетчатка. Она обладает высокой чувствительностью к электромагнитным волнам видимой области спектра и характеризуется большим коэффициентом поглощения электромагнитных волн видимой, инфракрасной и ближней ультрафиолетовой областей.

Повреждение глаза может варьировать от слабых ожогов сетчатки, сопровождающихся незначительными или полностью отсутствующими изменениями зрительной функции, до серьезных травм, приводящих к

ухудшению зрения и даже к полной его потере. Излучения с длинами волн более 1,4 мкм практически полностью поглощаются в стекловидном теле и водянистой влаге передней камеры глаза. При умеренных повреждениях эти среды глаза способны само-восстанавливаться. Лазерное же излучение средней инфракрасной области спектра может причинить тяжелое тепловое повреждение роговице.

В заключение отметим, что лазерное излучение оказывает повреждающее действие на все структуры органа зрения. Основным механизмом повреждений — тепловое действие. Импульсное лазерное излучение представляет большую опасность, чем непрерывное.

*Воздействие лазерного излучения на кожу.* Повреждения кожи, вызванные лазерным излучением, могут быть различными: от легкого покраснения до поверхностного обугливания и образования глубоких дефектов кожи. Эффект воздействия на кожные покровы определяется параметрами излучения лазера и степенью пигментации кожи.

Пороговые уровни энергии излучения, при которых возникают видимые изменения в коже, колеблются в сравнительно широких пределах (от 15 до 50 Дж/см<sup>2</sup>). Биологические эффекты, возникающие при облучении кожи в зависимости от длины волны, приведены в табл. 2.11.

*Действие лазерного излучения на внутренние органы.* Лазерное излучение (особенно дальней инфракрасной области спектра) способно проникать через ткани тела и взаимодействовать с биологическими структурами на значительной глубине, поражая внутренние органы.

Наибольшую опасность для внутренних органов представляет сфокусированное лазерное излучение. Степень повреждения внутренних органов в значительной мере определяется интенсивностью потока излучения и цветом ок-

**Таблица 2.11**

**Биологические эффекты, возникающие при облучении кожи лазером**

Ультрафиолетовая область	Различные фотохимические реакции, эритема, разрыв химических связей у большинства молекул, входящих в состав живой ткани, различные
Видимая	В основном термическое действие
Инфракрасная область	Выраженные деструктивные изменения термического характера

раски органа. Так, печень является одним из наиболее уязвимых внутренних органов. Тяжесть повреждения внутренних органов также зависит от длины волны падающего излучения. Наибольшую опасность представляют излучения с длинами волн, близкими к спектру поглощения химических связей органических молекул, входящих в состав биологических тканей.

Кроме лазерного излучения персонал, занимающийся эксплуатацией лазерной техники, может подвергнуться воздействию интенсивного светового и ультрафиолетового излучения, источником которого являются лампы вспышки, газоразрядные трубки и плазменный факел. Излучение незащищенных ламп накачки весьма вредно для глаз. Воздействие излучения ламп накачки возможно при их разэкранировании, главным образом, при наладке и в случае самопроизвольного разряда.

При эксплуатации лазерных установок следует учитывать и другие опасные факторы, к которым относятся: повышенное напряжение в электрической цепи, акустический шум, вибрации, вредные вещества. При эксплуатации лазеров необходимо также предусмотреть возможность взрывов и пожаров при попадании лазерного излучения на горючие материалы. В табл. 2.12 приведены основные опасные факторы, возникающие при эксплуатации лазерных установок.

**Таблица 2.12**

**Опасности, возникающие при эксплуатации лазерных установок, и источники их возникновения**

Опасности	Источник возникновения
Лазерное излучение: • прямое (зеркально	Резонатор лазера, зеркала, оптическая система, мишень при
Напряжение	Цепи управления и источники
Вредные вещества	Мишень при воздействии
УФ-излучение	и Мишень при воздействии
инфракрасное лазерного излучения	и Мишень при воздействии
Шум и вибрация	Мишень при воздействии

Зоны опасного влияния современных лазерных установок обычно ограничены размерами производственного помещения.

*Ионизирующие излучения.* Радиация имеет естественное и техногенное происхождение. Чтобы оценить уровень опасности, которую может

представлять радиация, рассмотрим свойства ионизирующих излучений и механизмы взаимодействия их с веществом.

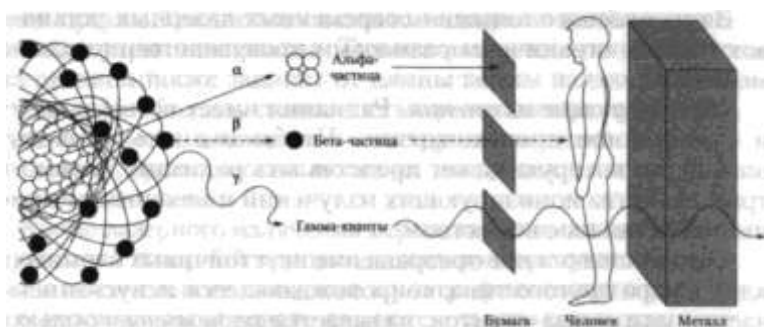
Самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в ядра другого типа, сопровождающееся испусканием частиц или гамма-квантов, называется *радиоактивностью*. Известны четыре типа радиоактивности: альфа-распад; бета-распад; спонтанное деление ядер; протонная радиоактивность.

Испускаемые в процессе ядерных превращений альфа- и бета-частицы, нейтроны и другие элементарные частицы, а также гамма-излучение представляют собой ионизирующие излучения, которые в процессе взаимодействия со средой производят ионизацию и возбуждение ее атомов и молекул. При этом примерно половина переданной ионизирующим излучением веществу энергии расходуется на ионизацию и половина на возбуждение. На каждый акт ионизации и возбуждения в воздухе в среднем расходуется 34—35 эВ энергии. Электронвольт (эВ) — единица энергии, используемая в атомной физике, равная кинетической энергии электрона, приобретаемой им при прохождении разности потенциалов, равной 1 В.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг.}$$

Заряженные частицы по мере прохождения через вещество теряют свою энергию малыми порциями, растрачивая ее на ионизацию и возбуждение атомов и молекул среды. Оба эти процесса всегда сопутствуют друг другу. Чем больше масса и заряд частицы, тем более интенсивно происходит передача энергии среде, т.е. тем больше число пар ионов образуется на единице пути и, следовательно, меньше ее пробег в веществе (рис. 2.14). Длина пробега в воздухе альфа-частиц, испускаемых радионуклидами, энергия которых лежит в пределе 4—9 мэВ, составляет 3—9 см.

Что же касается бета-частиц (электронов и позитронов), заряд которых в два раза, а масса более чем в 7000 раз меньше, чем у альфа-частицы, то их пробег в воздухе примерно в 1000 раз больше. В мягкой биологической ткани пробеги альфа-частиц составляют несколько десятков микрометров,



**Рис. 2.14.** Три вида ионизирующих излучений и их проникающая способность

а бета-частиц — 0,02 и 1,9 см соответственно для углерода-14 и калия-42.

Несколько по-иному происходит взаимодействие с веществом у гамма-излучения (поток фотонов) и нейтронов, которые не обладают зарядами и поэтому непосредственно ионизации не производят. В процессе прохождения через вещество фотон взаимодействует в основном с электронами атомов и молекул среды. При этом в каждом акте взаимодействия фотон передает электрону часть или всю свою энергию. В результате образуются так называемые вторичные электроны, которые в последующих процессах взаимодействия производят ионизацию и возбуждение. Таким образом, в случае гамма-излучения ионизация происходит не в первичных актах взаимодействия, как у альфа- и бета-частиц, а как результат передачи энергии вторичным частицам (электронам), которые растрачивают ее затем на ионизацию и возбуждение.

Для оценки радиационной обстановки, формируемой рентгеновским или гамма-излучением, используется внесистемная единица рентген. Рентген (Р) — это единица *экспозиционной дозы* рентгеновского или гамма-излучения, которая определяет ионизирующую способность в воздухе:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

При дозе 1 Р в  $1 \text{ см}^3$  воздуха образуется  $2,082 \cdot 10^9$  пар ионов или в 1 г воздуха —  $1,61 \cdot 10^{12}$  пар ионов.

На практике обычно радиационная обстановка измеряется в единицах мощности экспозиционной дозы — миллирентген в час (мР/ч) или микрорентген в секунду (мкР/с).

В качестве характеристик меры воздействия ионизирующего излучения на вещество используется величина  $D$  — *поглощенная дозы*. Она характеризует поглощенную энергию ионизирующего излучения в единице массы вещества:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

где  $dE$  — средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме;  $dm$  — масса вещества в этом объеме.

Единицей поглощенной дозы Международной системой (СИ) установлен грей (Гр); 1 Гр соответствует поглощению 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества 1 кг, т.е.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ . Иногда используется внесистемная единица поглощенной дозы — рад;  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$  или  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ .

Поглощенная доза является основной величиной, измеряющей не излучение, а его воздействие на вещество. Однако поглощенная доза не может служить мерой, характеризующей уровень биологического действия ионизирующего излучения на живой организм, который зависит не только от величины поглощенной энергии, но и целого ряда других параметров, обусловленных характером и условиями облучения (равномерность распределения поглощенной дозы в организме и т.д.).

Для оценки радиационной опасности, когда реализуются малые дозы излучения, введена *эквивалентная доза*  $H_{TR}$  как мера выраженности эффекта облучения, равная произведению поглощенной в органе или ткани дозы  $D_{T,R}$  на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $W_R$ :

$$H_{T,R} = D_{T,R} W_R$$

Единицей эквивалентной дозы Международной системой единиц (СИ) установлен зиверт (Зв). Один зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани на взвешивающий коэффициент равно 1 Дж/кг. внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент Рада): 1 бэр = 0,01 Зв или 1 Зв = 100 бэр.

Взвешивающие коэффициенты учитывают относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов. В настоящее время приняты следующие усредненные взвешивающие коэффициенты UV:

фотоны любых энергий — 1;

электроны и мюоны любых энергий — 1;

менее 10 кэВ — 5;

от 10 кэВ до 100 кэВ — 10;

от 100 кэВ до 2 мэВ — 20;

от 2 мэВ до 20 мэВ — 10;

более 20 мэВ — 5;

протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи, - 5;

альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра — 20.

Это значит, что биологическая эффективность быстрых



нейтронов в 10 раз, а альфа-излучения в 20 раз больше, чем бета-частиц и гамма-излучения. Следовательно, радиационный эффект (возможный ущерб здоровью), соответствующий эквивалентной дозе, равной 1 Зв, будет реализован при поглощенной дозе равной 1 Гр для бета-частиц и гамма-излучения ( $W_R = 1$ ); 0,1 Гр — для быстрых нейтронов ( $W_R = 10$ ); 0,05 Гр — для альфа-частиц ( $W_R = 20$ ).

Эквивалентная доза — <sup>2.4. Основная дозиметрическая величина</sup> основная дозиметрическая величина в области радиационной безопасности, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава. Эквивалентная доза может быть использована и при кратковременном воздействии, когда ее значение не превышает 0,5 Зв (50 бэр).

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза  $H_m$  определяется как сумма эквивалентных доз для  $R$  видов излучения.

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

В ряде случаев облучению подвергается не все тело, а один или несколько органов. Такая ситуация чаще всего реализуется при внутреннем облучении, т.е. при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом или пищевыми продуктами. Радионуклид, как и неактивный нуклид данного химического элемента, накапливается в том или ином органе. В частности, радионуклиды йода поступают преимущественно в щитовидную железу, радия и стронция — в костную ткань, полония — в печень, селезенку, почки и т.д.

Поскольку органы и ткани человека обладают различной радиочувствительностью, то для оценки риска возникновения отдаленных последствий при облучении всего организма или отдельных органов используется понятие *эффективной эквивалентной дозы (E)*. Единица этой дозы — зиверт (Зв). Она, так же как и эквивалентная доза, применима только для хронического облучения в малых дозах и является мерой оценки ущерба для здоровья по выходу отдаленных последствий.

По  определению:

$E = \sum H_T W_T$ ,

$R$

где  $H_T$  — эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_T$  — взвешивающий коэффициент для органа или ткани  $T$ , который характеризует относительный

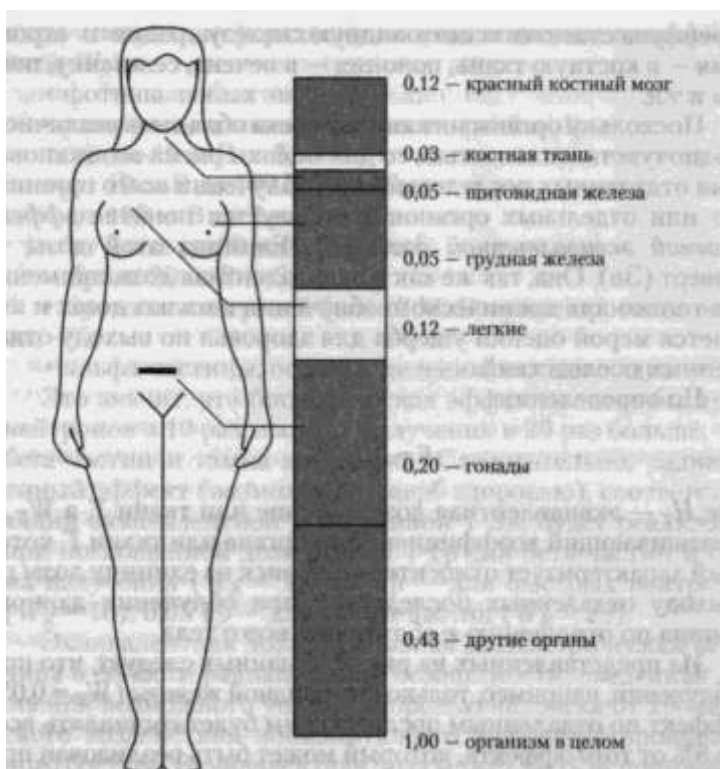
риск на единицу дозы по выходу отдаленных последствий при облучении данного органа по отношению к облучению всего тела.

Из представленных на рис. 2.15 данных следует, что при облучении, например, только щитовидной железы ( $W_R = 0,05$ ) эффект по отдаленным последствиям будет составлять всего 5% от того эффекта, который может быть реализован при облучении всего тела.

При экспозиционной дозе в 1 Р эквивалентную дозу с достаточной степенью точности можно принять равной 0,013 Зв. Например, если измеренная мощность дозы на местности равна 10 мР/ч, а человек в течение одного часа находится в месте измерения, то уровень облучения составит примерно 0,1 мЗв.

Кроме рассмотренных выше доз ионизирующего облучения, рассматривается *эффективная эквивалентная годовая доза*, равная сумме эффективной эквивалентной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной эквивалентной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Эффективная эквивалентная годовая доза также измеряется в зивертах.

Рассмотренные выше понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. В случае облучения больших групп людей дают оценку суммарного ожидаемого эффекта.



**Рис. 2.15.** Взвешивающие коэффициенты для разных органов и тканей человека при равномерном облучении всего тела, рекомендованные Международной

комиссией по радиационной защите для вычисления эффективной эквивалентной дозы

При облучении малыми дозами, незначительно превышающими естественный радиационный фон, можно ожидать лишь отдаленных последствий генетической или соматической природы. Соматические эффекты проявляются непосредственно у облученных лиц, генетические — в последующих поколениях. Мерой коллективного риска возникновения эффектов облучения является эффективная **эквивалентная коллективная доза**, которая определяется как сумма индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной эквивалентной коллективной дозы — человеко-зиверт (чел.-Зв).

Многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся радиоактивными и в отдаленном будущем, т.е. их воздействию подвергнутся современные и последующие

поколения. Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получают многие поколения от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования, называют *ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой*.

Различные дозы, используемые для оценки последствий воздействия излучения на людей, приведены на рис. 2.16.

К **техногенным источникам ионизирующих излучений** относят организации, реализующие широкомасштабные программы использования атомной энергии в мирных и военных целях (табл. 2.13)

Техногенная составляющая радиационного фона образуется и зависит от величины рассеянных в почве, воде, воздухе и других объектах внешней среды техногенных источников радиоактивных загрязнений, образовавшихся при ядерных взрывах, работе предприятий ядерно-топливного и ядерно-оружейного циклов, возникновении радиационно-опасных аварий на предприятиях и транспорте, при использовании радиационных технологий и методов в науке, промышленности и медицине, а также при обращении с радиоактивными отходами.

Наибольшую опасность при работе предприятий ядерно-топливного цикла представляют радионуклиды, имеющие большой период полураспада и способные быстро распространяться в окружающей среде. К таким в первую очередь относятся  $I^{129}$ ,  $Ra^{226}$ , который выделяется из хвостов руд.

Из отходов АЭС наибольшую опасность представляют высокоактивные отходы, к которым относятся в первую очередь отработанные топливные элементы или

отвержденные продукты переработки ядерного горючего. Для них характерна высокая удельная активность и высокое тепловыделение, составляющее:

радон из хвостохранилищ заводов — 2800 чел.-Зв/ГВт;

углерод-14 — 110 чел.-Зв/ГВт;

высокоактивные отходы — 30 чел.-Зв/ГВт;

йод-129 — 28 чел.-Зв/ГВт.

2.4. Техногенные опасности

100

Проведенные международные оценки свидетельствуют, что дозы техногенного облучения каждого индивидуума в течение жизни не превышают 1% годовой дозы за счет естественного радиационного фона. Это справедливо и в условиях предполагаемого производства электроэнергии на АЭС порядка 10 000 гВт в год при безаварийной эксплуатации.

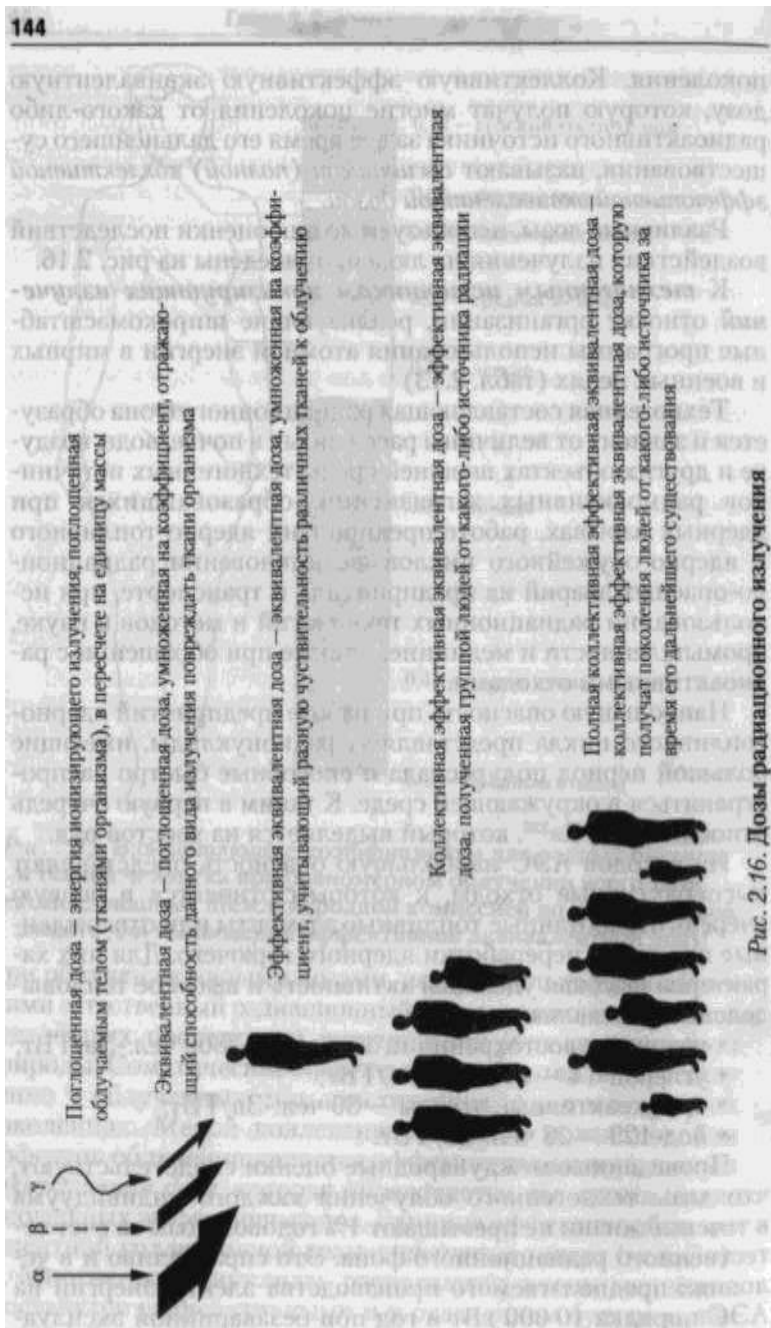


Рис. 2.16. Дозы радиационного излучения

*Численность организаций и персонала, работающих с источниками излучений*

**Таблица 2.13**

Направление	Численность		Персонал, тыс. чел. (%)		
	тыс.	%	группа	группа	всего
Медицинские	10,0*	66	56 (37)	8,0 (13)	64 (30)
Промышленные	3,0	20	67 (45)	45 (74)	112 (54)
Научные	0,6	4	10(7)	3,0 (5)	13(6)
Геологоразведо	од	1	-	-	-
АЭС	0,01	0,07	-	-	-
Росатом	0,008	0,05	—	-	■—
Прочие	1,3	9	17(11)	5,0 (8)	22(10)
Всего	15,0	1000	150	61(100)	211(100)

147

К другим основным причинам, оказывающим влияние на изменение техногенной составляющей радиационного фона, условно можно отнести облучение при применении медицинских процедур, радиоизотопных методов неразрушающего технологического контроля и другие причины попадания в окружающую среду искусственных и естественных радионуклидов. В табл. 2.14 приведены средние

**Таблица 2.14**

**Средние значения годовой дозы облучения от некоторых техногенных источников излучения**

Техногенный источник	Доза, мкЗв/год
Медицинские процедуры	400—700 (для
ТЭС (в радиусе 20 км)	5,3
АЭС (в радиусе 10 км)	1,36
Радиоактивные осадки (главным образом)	75-200
Телевизоры, дисплеи	4—5 при расстоянии 1—
Керамика, стекло	10

**\* Доза облучения увеличивается с уменьшением расстояния до экрана. На расстоянии 10 см доза облучения возрастает до 250—500 мкЗв/год.**

Несколько по-иному происходит взаимодействие с веществом у гамма-излучения (поток фотонов) и нейтронов, которые не обладают зарядами и поэтому непосредственно ионизации не производят. В процессе прохождения через вещество фотон взаимодействует в основном с электронами атомов и молекул среды. При этом в каждом акте взаимодействия фотон передает электрону часть или всю свою энергию. В результате образуются так называемые вторичные электроны, которые в последующих процессах взаимодействия производят ионизацию и возбуждение. Таким образом, в случае

гамма-излучения ионизация происходит не в первичных актах взаимодействия, как у альфа- и бета-частиц, а как результат передачи энергии вторичным частицам (электронам), которые растрачивают ее затем на ионизацию и возбуждение.

Для оценки радиационной обстановки, формируемой рентгеновским или гамма-излучением, используется внесистемная единица рентген. Рентген (Р) — это единица экспозиционной дозы рентгеновского или гамма-излучения, которая определяет ионизирующую способность в воздухе:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

При дозе 1 Р в 1 см<sup>3</sup> воздуха образуется  $2,082 \cdot 10^9$  пар ионов или в 1 г воздуха —  $1,61 \cdot 10^{12}$  пар ионов.

На практике обычно радиационная обстановка измеряется в единицах мощности экспозиционной дозы — миллирентген в час (мР/ч) или микрорентген в секунду (мкР/с). В качестве характеристик меры воздействия ионизирующего излучения на вещество используется величина  $D$  — поглощенная дозы. Она характеризует поглощенную энергию ионизирующего излучения в единице массы вещества:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

где  $dE$  — средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме;  $dm$  — масса вещества в этом объеме.

Единицей поглощенной дозы Международной системой (СИ) установлен грей (Гр); 1 Гр соответствует поглощению 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества 1 кг, т.е.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ . Иногда используется внесистемная единица поглощенной дозы — рад;  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$  или  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ .

Поглощенная доза является основной величиной, измеряющей не излучение, а его воздействие на вещество. Однако поглощенная доза не может служить мерой, характеризующей уровень биологического действия ионизирующего излучения на живой организм, который зависит не только от величины поглощенной энергии, но и целого ряда других параметров, обусловленных характером и условиями облучения (равномерность распределения поглощенной дозы в организме и т.д.).

Для оценки радиационной опасности, когда реализуются малые дозы излучения, введена *эквивалентная доза*  $H_{TR}$  как мера выраженности эффекта облучения, равная произведению поглощенной в органе или ткани дозы  $D_{T,R}$  на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $W_R$ :

$$H_{T,R} = D_{T,R} W_R$$

Единицей эквивалентной дозы Международной системой единиц (СИ) установлен зиверт (Зв). Один зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани на взвешивающий коэффициент равно 1 Дж/кг. Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент Рада): 1 бэр = 0,01 Зв или 1 Зв = 100 бэр.

Взвешивающие коэффициенты учитывают относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов. В настоящее время приняты следующие усредненные взвешивающие коэффициенты UV:

фотоны любых энергий — 1;

электроны и мюоны любых энергий — 1;

менее 10 кэВ — 5;

от 10 кэВ до 100 кэВ — 10;

от 100 кэВ до 2 мэВ — 20;

от 2 мэВ до 20 мэВ — 10;

более 20 мэВ — 5;

протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи, - 5;

альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра — 20.

Это значит, что биологическая эффективность быстрых

нейтронов в 10 раз, а альфа-излучения в 20 раз больше, чем бета-частиц и гамма-излучения. Следовательно, радиационный эффект (возможный ущерб здоровью), соответствующий эквивалентной дозе, равной 1 Зв, будет реализован при поглощенной дозе равной 1 Гр для бета-частиц и гамма-



излучения ( $W_R = 1$ ); 0,1 Гр — для быстрых нейтронов ( $W_R = 10$ ); 0,05 Гр — для альфа-частиц ( $W_R = 20$ ).

Эквивалентная доза — основная дозиметрическая величина в области радиационной безопасности, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава. Эквивалентная доза может быть использована и при кратковременном воздействии, когда ее значение не превышает 0,5 Зв (50 бэр).

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза  $H_m$  определяется как сумма эквивалентных доз для  $R$  видов излучения.

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

В ряде случаев облучению подвергается не все тело, а один или несколько органов. Такая ситуация чаще всего реализуется при внутреннем облучении, т.е. при поступлении радионуклидов в организм с вдыхаемым воздухом или пищевыми продуктами. Радионуклид, как и неактивный нуклид данного химического элемента, накапливается в том или ином органе. В частности, радионуклиды йода поступают преимущественно в щитовидную железу, радия и стронция — в костную ткань, полония — в печень, селезенку, почки и т.д.

Поскольку органы и ткани человека обладают различной радиочувствительностью, то для оценки риска возникновения отдаленных последствий при облучении всего организма или отдельных органов используется понятие **эффективной эквивалентной дозы (E)**. Единица этой дозы — зиверт (Зв). Она, так же как и эквивалентная доза, применима только для хронического облучения в малых дозах и является мерой оценки ущерба для здоровья по выходу отдаленных последствий.

По определению:

$$E = \sum_R H_T W_T$$

где  $H_T$  — эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_T$  — взвешивающий коэффициент для органа или ткани  $T$ , который характеризует относительный риск на единицу дозы по выходу отдаленных последствий при облучении данного органа по отношению к облучению всего тела.

Из представленных на рис. 2.15 данных следует, что при облучении, например, только щитовидной железы ( $W_R = 0,05$ ) эффект по отдаленным последствиям будет составлять всего 5% от того эффекта, который может быть реализован при облучении всего тела.

При экспозиционной дозе в  $1 \text{ Р}$  эквивалентную дозу с достаточной степенью точности можно принять равной  $0,013 \text{ Зв}$ . Например, если измеренная мощность дозы на местности равна  $10 \text{ мР/ч}$ , а человек в течение одного часа находится в месте измерения, то уровень облучения составит примерно  $0,1 \text{ мЗв}$ .

Кроме рассмотренных выше доз ионизирующего облучения, рассматривается **эффективная эквивалентная годовая доза**, равная сумме эффективной эквивалентной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной эквивалентной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Эффективная эквивалентная годовая доза также измеряется в зивертах.

Рассмотренные выше понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. В случае облучения больших групп людей дают оценку суммарного ожидаемого эффекта.

**Рис. 2.15.** Взвешивающие коэффициенты для разных органов и тканей человека при равномерном облучении всего тела, рекомендованные Международной комиссией по радиационной защите для вычисления эффективной эквивалентной дозы

При облучении малыми дозами, незначительно превышающими естественный радиационный фон, можно ожидать лишь отдаленных последствий генетической или соматической природы. Соматические эффекты проявляются непосредственно у облученных лиц, генетические — в последующих поколениях. Мерой коллективного риска возникновения эффектов облучения является эффективная **эквивалентная коллективная доза**, которая определяется как сумма индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной эквивалентной коллективной дозы — человеко-зиверт (чел.-Зв).

Многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся радиоактивными и в отдаленном будущем, т.е. их воздействию подвергнутся современные и последующие

поколения. Коллективную эффективную эквивалентную дозу, которую получают многие поколения от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования, называют *ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой*.

Различные дозы, используемые для оценки последствий воздействия излучения на людей, приведены на рис. 2.16.

К **техногенным источникам ионизирующих излучений** относят организации, реализующие широкомасштабные программы использования атомной энергии в мирных и военных целях (табл. 2.13)

Техногенная составляющая радиационного фона образуется и зависит от величины рассеянных в почве, воде, воздухе и других объектах внешней среды техногенных источников радиоактивных загрязнений, образовавшихся при ядерных взрывах, работе предприятий ядерно-топливного и ядерно-оружейного циклов, возникновении радиационно-опасных аварий на предприятиях и транспорте, при использовании радиационных технологий и методов в науке, промышленности и медицине, а также при обращении с радиоактивными отходами.

Наибольшую опасность при работе предприятий ядерно-топливного цикла представляют радионуклиды, имеющие большой период полураспада и способные быстро распространяться в окружающей среде. К таким в первую очередь относятся  $I^{129}$ ,  $Ra^{226}$ , который выделяется из хвостов руд.

Из отходов АЭС наибольшую опасность представляют высокоактивные отходы, к которым относятся в первую очередь отработанные топливные элементы или отвержденные продукты переработки ядерного горючего. Для них характерна высокая удельная активность и высокое тепловыделение, составляющее:

радон из хвостохранилищ заводов — 2800 чел.-Зв/ГВт;

углерод-14 — 110 чел.-Зв/ГВт;

высокоактивные отходы — 30 чел.-Зв/ГВт;

йод-129 — 28 чел.-Зв/ГВт.

Проведенные международные оценки свидетельствуют, что дозы техногенного облучения каждого индивидуума в течение жизни не превышают 1% годовой дозы за счет естественного радиационного фона. Это справедливо и в условиях предполагаемого производства электроэнергии на АЭС порядка 10 000 ГВт в год при безаварийной эксплуатации.

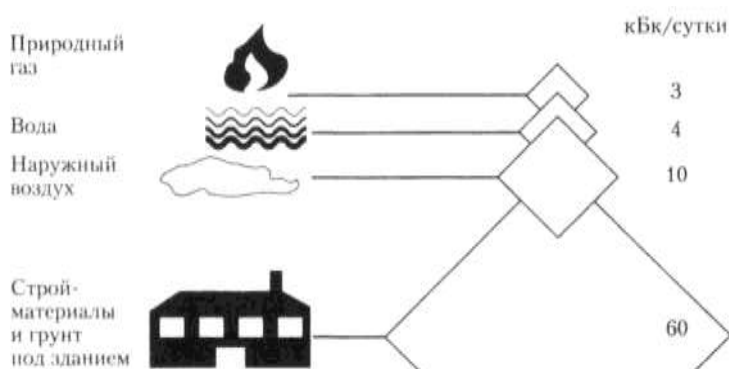
При медицинских процедурах основную дозу облучения население получает при рентгеновских исследованиях. Получаемая при их проведении эффективная эквивалентная доза (~1,5 мЗв) выше, чем при проведении иных диагностических методов медицинского обследования с использованием радиоизотопных методов (10—15%).

Уровень радиоактивности в жилом помещении зависит от строительных материалов: в кирпичном, железобетонном, шлакоблочном доме он всегда несколько выше, чем в деревянном. Газовая плита приносит в дом не только токсичные продукты горения бытового газа, но и радиоактивные газы (радон). Поэтому уровень радиоактивности на кухне может существенно превосходить фоновый при работающей газовой плите.

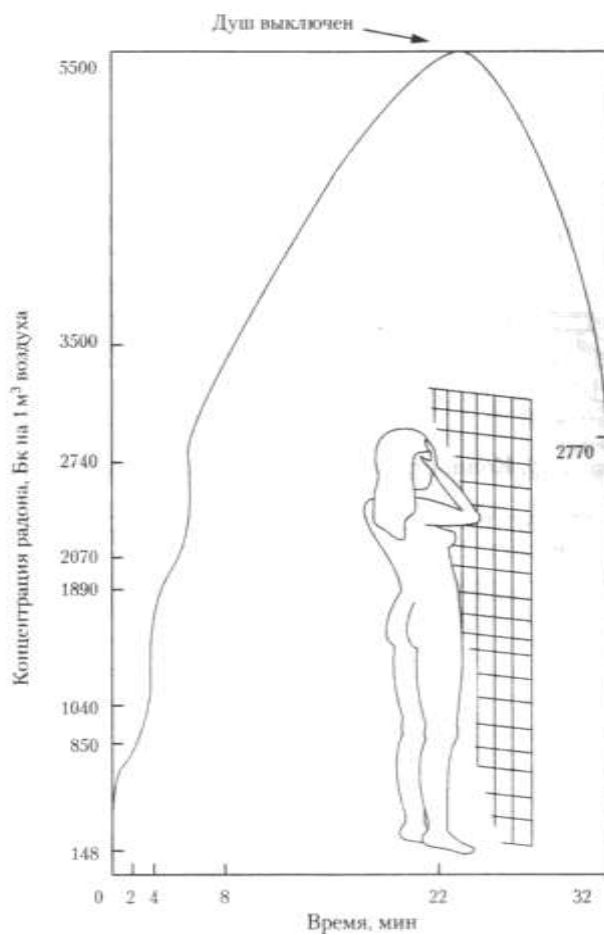
В закрытом, непроветриваемом помещении человек может подвергаться воздействию радона, который непрерывно высвобождается из земной коры. Поступая через фундамент, пол, из воды или иным путем, радон накапливается в изолированном помещении (рис. 2.17 и 2.18). Средние концентрации радона обычно составляют (кБк/м<sup>3</sup>): в ванной комнате 8,5, на кухне 3, в спальне 0,2 (рис. 2.19).

Концентрация радона на верхних этажах зданий обычно ниже, чем на первом этаже. Избавиться от избытка радона можно проветриванием помещения.

В этом отношении поучителен опыт Швеции: с начала 1950-х гг. в стране проводится кампания по экономии энер-



**Рис. 2.17.** Источники поступления радона в здания



154

**Рис. 2.18.** Поступление радона при пользовании душем

гии, в том числе путем уменьшения проветривания помещений. В результате средняя концентрация радона в помещении возросла с 43 до 133 Бк/м<sup>3</sup> при снижении воздухообмена с 0,8 до 0,3 м<sup>3</sup>/ч. По оценкам, на каждый 1 гВт/год электроэнергии, сэкономленной за счет уменьшения проветривания помещений, шведы получили дополнительную коллективную дозу облучения в 5600 чел.-Зв.

В настоящее время эффективная доза, обусловленная естественными и техногенными источниками радиации, составляет в России - 4,21 мЗв в год. Структура коллектив-



**Рис. 2.19. Концентрация радона в разных помещениях**

ных доз облучения населения Российской Федерации представлена в табл. 2.15.

*Действие ионизирующих излучений на человека* носит сложный характер. При однократном равномерном облучении всего тела в дозе 0,5 Зв детерминированные эффекты практически не наблюдаются, т.е. их нельзя обнаружить современными методами. Значения дозовых порогов для некоторых детерминированных эффектов облучения приведены в табл. 2.16.

Различные формы лучевой болезни развиваются при поглощенных дозах выше 1 Гр. В табл. 2.17 приведены значения поглощенных доз, при которых возникают острые лучевые поражения человека. Крайне тяжелая форма острой лучевой болезни, приводящая к смертельному исходу в 100% случаев, наблюдается при дозе, превышающей 6 Гр.

Таблица 2.15

Структура коллективных доз облучения населения Российской Федерации

Компоненты дозы	Вклад в коллективную
Медицинские источники	15,3
Природные источники	84,4
Техногенный фон	0,26
Эксплуатация источников	0,04

## Дозовые пороги возникновения некоторых детерминированных эффектов облучения человека

	При облучении,	При облучении,
Легкое угнетение (легкая лейкоцитопения, снижение иммунитета)	0,15	0,40
Временная стерильность	0,15	0,40
Постоянная	3,5-6,00	2,00
Цостоянная	2,5-6,00	0,2 (до
Помутнение хрусталика глаза с ухудшением зрения	5,00	0,15 (до и более)

Таблица 2.17

## Дозы, вызывающие острые лучевые поражения человека

Лучевое поражение	Доза, Гр
Легкая степень острой лучевой	1-2
Тяжелая лучевая болезнь, гибель в 50%	4-6
Кишечная форма лучевой болезни	> 10
Нервная форма лучевой болезни	>80
Местные поражения:	
эритема кожи (первичная, вторичная)	8-10
пузырьки, трофические язвы	12-20

Причиной смерти чаще всего являются поражение клеток костного мозга и внутренние кровоизлияния.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС с острой формой лучевой болезни различной степени тяжести было госпитализировано 237 человек, уровни облучения у которых варьировали в диапазоне 1—16 Гр. Из них не удалось спасти 29 человек, в основном вследствие тотальных ожогов кожи (до 90% поверхности тела). Остальные пострадавшие были выписаны из клиники в удовлетворительном состоянии, причем только 16 человек в настоящее время не работают.

Картина лучевой болезни различной степени тяжести в зависимости от дозы относится к случаю однократного облучения всего тела. Если же облучение в этой дозе произвести не однократно, а растянуть по времени, то эффект облучения будет снижен. Это связано с тем, что живые организмы, в том числе

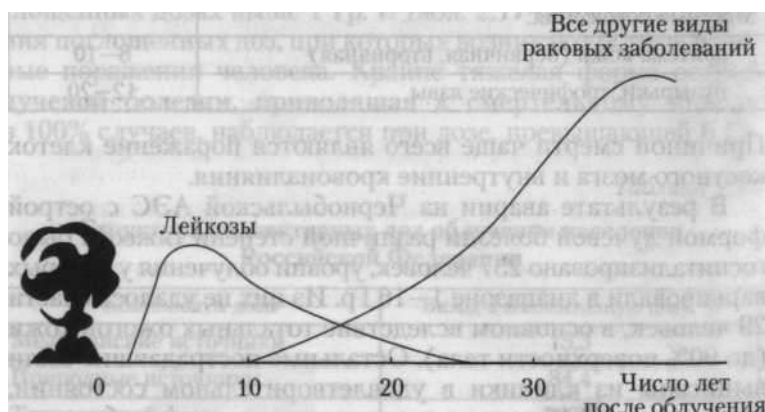
и человек, способны восстанавливать нормальную жизнедеятельность после тех или иных ее нарушений.

В случае систематически повторяющегося облучения в дозах, не вызывающих острой лучевой болезни, но значительно больших предельно допустимых, может развиваться хроническая лучевая болезнь. Наиболее характерными признаками хронической лучевой болезни являются изменения в составе крови (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие) и ряд симптомов со стороны нервной системы.

Согласно установленным радиобиологическим данным, реакция организма на облучение может проявиться и в отдаленные сроки (через 10—20 лет). Такими реакциями могут явиться лейкозы, злокачественные опухоли органов и тканей, катаракты, поражения кожи, старение, ведущее к преждевременной смерти, не связанное с какой-либо определенной причиной.

На рис. 2.20 показана относительная среднестатистическая вероятность заболевания раком после получения однократной дозы 0,01 Гр при равномерном облучении всего тела.

На графике, построенном на основании результатов обследования людей, переживших атомную бомбардировку, показано ориентировочное время появления злокачественных опухолей с момента облучения. Из графика следует,



**Рис. 2.20.** Вероятность заболевания раком после получения однократной дозы в  $10^{-2}$  Гр

что прежде всего после двухлетнего скрытого периода развиваются лейкозы, достигая максимальной частоты через шесть-семь лет, затем частота плавно

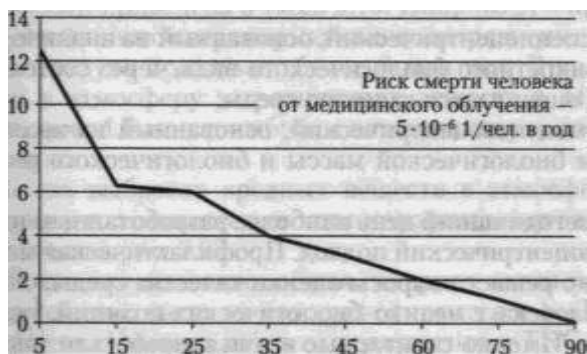


уменьшается и через 25 лет становится практически равной нулю. Опухоли начинают развиваться через 10 лет после облучения.

Риск смерти человека от медицинского облучения зависит от возраста и облучаемого органа. На рис. 2.21 представлена зависимость риска облучения в малых дозах от возраста.

В табл. 2.18 представлен латентный период проявления раковых заболеваний после облучения.

**Постоянные региональные и глобальные опасности.** Отходы промышленности, сельского хозяйства и средств транспорта оказывают значительное негативное влияние на все компоненты природной среды — биоту: атмосферу, гидросферу и литосферу. Под воздействием отходов загрязняются воздух, вода, почва, разрушаются и гибнут флора и фа-



Возраст во время облучения, лет

**Рис. 2.21.** Зависимость риска облучения в малых дозах от возраста

**Таблица 2.18**

**Латентный период проявления раковых заболеваний после облучения**

Орган	Латентный период, годы
Щитовидная железа	10,0
Красный костный мозг	12,5
Молочная железа	15,5
Печень	21,5
Легкие	24,0

уна, при этом в природе возникают масштабные, не свойственные ей негативные явления и процессы.

Так, в атмосфере образуются кислотные осадки, фотохимический смог, возникает парниковый эффект и разрушается озоновый слой; в гидросфере — эвтрофирование водоемов, образование депрессионных воронок; в литосфере — нарушение кислотности почв, растворение тяжелых металлов, образование отвалов и свалок.

Все это существенно снижает качество окружающей человека среды, отрицательно влияет на его здоровье. Сейчас в негативной среде (некачественный воздух, вода и т.д.) живут 40 млн россиян, из них в опасной среде — 1 млн.

Для оценки качества природной среды применимы три подхода:

антропоцентрический, основанный на оценке динамики численности населения и динамики продолжительности жизни;

специоцентрический, основанный на анализе состояния конкретного биологического вида, через состояние которого оценивается качество среды;

биоценозоцентрический, основанный на анализе динамики биологической массы и биологического разнообразия.

На сегодняшний день наиболее разработанным является антропоцентрический подход. Профилактическая медицина успешно решает вопросы оценки качества среды, окружающей человека, с медико-биологических позиций, т.е. квалитетрии. Именно санитарные врачи разработали такие важные понятия, как ПДК вредного вещества, ПДД, которую может принять в организм человек или животное, ПДС, ПДВ, ПДУ для физических агентов и т.д. Достоинства этих понятий — отработанность и большой эмпирический задел. Недостатки — отсутствие в профилактической медицине учета взаимодействия веществ, отдаленных последствий их воздействия, генетической изменчивости человека и иных организмов.

Принятые нормативы ПДК и прочие показатели отражают качество окружающей среды для организма человека. Генеральный показатель оптимальности, применяемый в антропоцентрическом подходе к состоянию среды, — средняя продолжительность жизни. Ее сокращение в каком-либо регионе свидетельствует о низком качестве природной среды, экологическом неблагополучии.

*Воздействие на атмосферу.* Атмосфера является наименьшим по массе компонентом Земли: она составляет  $10^{-3}$  от массы гидросферы и  $10^5$  от массы литосферы. Состояние атмосферы определяет тепловой режим земной поверхности, ее озоновый слой защищает живые организмы от жесткого ультрафиолетового излучения.

Ограниченные размеры атмосферы делают ее весьма чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнениям.

*Выбросы в приземный слой атмосферы.* В городах и регионах атмосферный воздух загрязняется прежде всего выбросами автомобильного транспорта, промышленных предприятий и ТЭС. В крупных городах доля загрязнений воздуха автомобильным транспортом достигает 90% и более.

Сравнительная оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от транспортных средств в целом по России приведена в табл. 2.19. Например, в Москве в зонах устойчивого сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха проживает более 8 млн чел. В валовых выбросах в атмосферу загрязняющих веществ в Москве, составляющих 1,9 млн т, выбросы автотранспорта достигают 1,8 млн т.

Динамика выбросов вредных веществ в атмосферу от транспортного комплекса и стационарных источников представлена на рис. 2.22.

Отработавшие газы автомобиля содержат сотни токсичных компонентов, часть из которых относится к 1—3 классам опасности. Промышленные предприятия и ТЭС также вносят значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в развитых промзонах и в промышленных городах (до 50% и выше).

Во многих городах России (табл. 2.20) отмечено очень высокое загрязнение атмосферного воздуха (ИЗА > 14). Уровень загрязнения в этих городах определяется концентрациями бенз(а)пирена, формальдегида, диоксида азота и взвешенных веществ, а так же фенола, сероуглерода, фторида водорода и аммиака.

Средние концентрации формальдегида и бенз(а)пирена в атмосфере этих городов России соответственно выше нормы в 2,6 и 2,8 раза, а по фенолу и диоксиду азота — близки к предельно допустимым концентрациям.

Большую озабоченность вызывает загрязнение атмосферного воздуха европейской территории России органическими выбросами загрязняющих веществ в атмосферу транспортными средствами

Вид транспорта	Угарный газ	Углеводороды	Оксиды	Углерод	Диоксид	Свинец	Всего
Автомобильный	11 066	1592	1650	19,2	121	1	14
Речной	15,5	11,6	44,2	4,5	15,5	-	91,3
Морской	12,9	8,5	30,8	2,9	32,1	-	87,2
Воздушный	64	15	77	-	17	-	173
Железнодорожный	32,86	16,24	119,32	7,33	-	-	175,75
Дорожный	103,2	26,8	14,2	4,8	7,5	0,02	156,52
Итого	11	1670,1	1935,5	38,7	193,	1,02	15



**Рис. 2.22. Динамика валовых выбросов вредных веществ в атмосферу передвижными и стационарными объектами автомобильного транспорта и дорожного хозяйства**

ческими соединениями (бенз(а)пирены и др.). Среднегодовые концентрации бенз(а)пирена в 2007 г. в этом регионе изменялись от 0,01 до 0,23 нг/м<sup>3</sup>, а максимальные концентрации могли достигать 1 нг/м<sup>3</sup>, при нормативном значении, равном 0,15 нг/м<sup>3</sup>.

### Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения воздуха

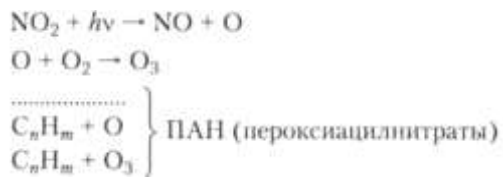
Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферы*	Город	Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферы*
Балаково	NO <sub>2</sub> , БП, CS <sub>2</sub> , Ф, фенол	Нижний Тагил	Ф, БП, NH <sub>3</sub> , фенол
Барнаул	Ф, БП, NO <sub>2</sub> , ВВ	Новокузнецк	Ф, БП, ВВ, NO <sub>2</sub>
Белоярский	Ф	Новокуйбышевск	Ф, БП
Благовещенск, Амурская область	БП, Ф, NO <sub>2</sub>	Норильск	БП
Братск	БП, NO <sub>2</sub> , Ф, CS <sub>2</sub>	Первоуральск	БП, NO <sub>2</sub> , HF, NO, ВВ
Владимир	БП, Ф, фенол	Пермь	Ф, БП, HF
Волгоград	БП, NO <sub>2</sub> , Ф, HF, HCl	Петровск-Забайкальский	БП, ВВ
Волжский	Ф, NO <sub>2</sub>	Саратов	Ф, фенол, NO <sub>2</sub>
Екатеринбург	Ф, БП, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	Селенгинск	БП, Ф, CS <sub>2</sub> , фенол, ВВ
Зима	БП, Ф, NO <sub>2</sub>	Соликамск	Ф, БП, ЭБ
Иркутск	Ф, БП, NO <sub>2</sub> , ВВ	Ставрополь	Ф, БП
Карабаш	Ф, HF, свинец	Сызрань	Ф, сажа, БП, NO <sub>2</sub>
Красноярск	БП, Ф, ВВ, NO <sub>2</sub>	Томск	Ф, БП, NO <sub>2</sub>
Курган	Ф, БП, сажа	Тюмень	Ф, БП, ВВ, NO <sub>2</sub> , NO
Магадан	БП, Ф, NO <sub>2</sub>	Улан-Удэ	БП, Ф, ВВ
Магнитогорск	БП, Ф, ВВ, NO <sub>2</sub>	Усурийск	БП, NO <sub>2</sub> , ВВ
Минусинск	Ф, БП	Челябинск	БП, Ф, HF
Набережные Челны	Ф, БП	Чита	БП, Ф, ВВ, NO <sub>2</sub>
Нерюнгри	Ф, БП, NO <sub>2</sub>	Южно-Сахалинск	Ф, БП, сажа, NO <sub>2</sub> , ВВ

\* Ф – формальдегид, ВВ – взвешенные вещества, БП – бенз(а)пирен, HF – фторид водорода, NO – оксид азота, NO<sub>2</sub> – диоксид азота, CS<sub>2</sub> – сероуглерод, NH<sub>3</sub> – аммиак, HCl – хлористый водород, ЭБ – этилбензол.

Поступление бенз(а)пирена на европейскую территорию России обусловлено работой региональных источников (автотранспорт, металлургия, ТЭС и т.п.) и трансграничным переносом из сопредельных стран Европы (Польша, Украина, Белоруссия, прибалтийские страны).

Значительно загрязнение атмосферного воздуха тяжелыми металлами (кадмий, ртуть, свинец). Уровень загрязнения воздуха тяжелыми металлами обычно характеризуют показателем поступления (выпадения) этих веществ в почву.

*Фотохимический смог.* Общая схема реакций образования фотохимического смога в городах сложна и в упрощенном виде может быть представлена реакциями



Смог весьма токсичен, так как его составляющие обычно находятся в пределах:  
 $\text{O}_3$  — 60—75%; ПАН,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , альдегиды

и др. — 25—40%.

Для образования смога в атмосфере в солнечную погоду необходимо наличие оксидов азота и углеводородов (их выбрасывают в атмосферу автотранспорт, промышленные предприятия). Характерное распределение концентрации фотохимического смога относительно времени суток показано на рис. 2.23.

Фотохимические смоги, впервые обнаруженные в 1940-х гг. в Лос-Анджелесе, теперь периодически наблюдаются и в других городах мира.

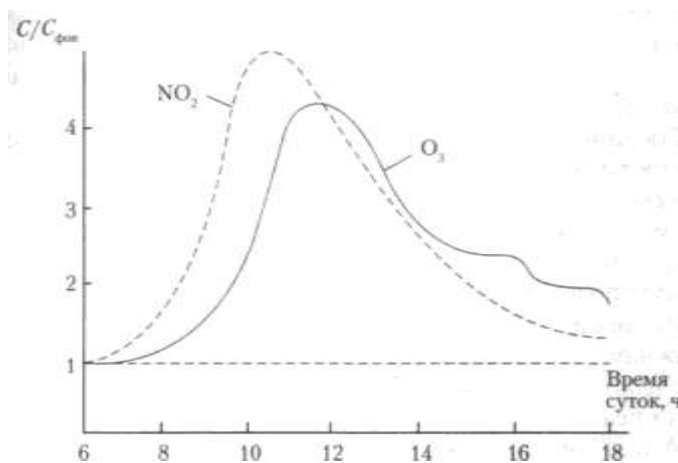
*Кислотные дожди* известны более 100 лет, однако проблема этих дождей возникла около 35 лет назад.

Источниками кислотных дождей служат газы, содержащие серу и азот. Наиболее важные из них:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}^*$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Кислотные дожди возникают вследствие неравномерного распределения этих газов в атмосфере. Например, концентрация  $\text{SO}_2$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) обычно такова: в городе 50—1000, на территории в радиусе около 50 км вокруг города — 10—50, в радиусе около 150 км — 0,1—2, над океаном — 0,1.

Основными реакциями в атмосфере являются:

- вариант 1:  $\text{SO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HSO}_3$ ;  $\text{HSO}_3 + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  (мо

лекулы в атмосфере быстро конденсируются в капли);



**Рис. 2.23. Относительные концентрации  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  в атмосферном воздухе**

вариант 2:  $\text{SO}_2 + h\nu \rightarrow \text{SO}_2^*$  (активированная молекула диоксида серы);  $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{-1} \text{SO}_4$ ;  $\text{SO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{O}_3$ ;  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ .

Реакции обоих вариантов в атмосфере идут одновременно. Для сероводорода характерна реакция  $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  и далее 1 или 2 вариант реакции.

Источники поступления соединений серы в атмосферу:

естественные (вулканическая деятельность, действия микроорганизмов и др.) — 31—41%;

антропогенные (ТЭС, промышленность и др.) — 59—69%.

Всего в окружающую среду поступает 91—112 млн т соединений серы в год.

Концентрации соединений азота составляют: в городе 10—100 мкг/м<sup>3</sup>, на территории в радиусе 50 км вокруг города 0,25—2,5 мкг/м<sup>3</sup>, над океаном 0,25 мкг/м<sup>3</sup>.

Из соединений азота основную долю кислотных дождей дают  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ . В атмосфере возникают реакции:  $2\text{NO} + \text{O}_2 \xrightarrow{*} 2\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_2 + \text{OH} \xrightarrow{*} \text{HNO}_3$ .

Источники соединений азота:

естественные (почвенная эмиссия, грозовые разряды, горение биомассы и др.) — 63%;

антропогенные (ТЭС, автотранспорт, промышленность) 37%.

Всего в окружающую среду поступает 51—61 млн т соединений азота в год.

Серная и азотная кислоты поступают в атмосферу также в виде тумана и паров от промышленных предприятий и автотранспорта. В городах их концентрация достигает  $2 \text{ мкг/м}^3$ .

Соединения серы и азота, попавшие в атмосферу, вступают в химическую реакцию не сразу, сохраняя свои свойства соответственно в течение 2 и 8—10 суток. За это время они могут вместе с атмосферным воздухом пройти расстояния до 2000 км и лишь после этого выпадают с осадками на земную поверхность.

Различают два вида седиментации: влажную и сухую. Влажная — это выпадение кислот, растворенных в капельной влаге, она возникает при влажности воздуха 100,5%; сухая реализуется в тех случаях, когда кислоты присутствуют в атмосфере в виде капель диаметром около 0,1 мкм. Скорость седиментации в этом случае весьма мала, и капли могут проходить большие расстояния (следы серной кислоты обнаружены даже на Северном полюсе). В нашей стране повышенная кислотность осадков ( $\text{pH} = 4\text{—}5,5$ ) отмечается в отдельных промышленных регионах. Наиболее неблагоприятны города Тюмень, Тамбов, Архангельск, Северодвинск, Вологда, Петрозаводск, Омск и др. Плотность выпадения осадков серы, превышающая  $4 \text{ т/км}^2$  в год, зарегистрирована в 22 городах страны, а более 8—12  $\text{т/км}^2$  в год в городах Алексин, Новомосковск, Норильск, Магнитогорск.

*Парниковый эффект.* Возникновение глобального парникового эффекта также связано с поступлением в атмосферу различных газовых примесей.

Суть парникового эффекта заключается в том, что Земля поглощает солнечное излучение (преимущественно в видимом диапазоне) и испускает теплоту в инфракрасном диапазоне. Главными поглотителями теплового излучения от земной поверхности служат диоксид углерода, метан и некоторые другие атмосферные примеси. Эти атмосферные примеси действуют подобно прозрачной крыше парника, пропуская к Земле коротковолновую часть спектра и задерживая у Земли длинноволновое тепловое излучение. Отсюда и их название — парниковые газы. Чем выше их концентрация в атмосфере, тем выше парниковый эффект.

Рост содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере обусловлен потреблением углеводородных топлив — газа, нефти, угля. Другой источник  $\text{CO}_2$  связан с изменениями растительного и почвенного покрова континентов. Вырубка лесов, а также рас-



пашка целинных земель и общая интенсификация земледелия приводят к более быстрому извлечению углерода из гумуса почв. За последние 100 лет сжигание топлива дало выброс углерода в среднем около 168 гт, а эмиссия вследствие изменения растительности континентов и необратимого нарушения почвенного покрова за это же время оценивается средней величиной 68 гт.

Основным каналом стока избыточного углерода из атмосферы является Мировой океан. Около 60% углерода поглощается океанами, а остальное количество — биотой континентов. Современная человеческая деятельность вносит значительные изменения в функционирование морских экосистем, через несколько десятилетий Мировой океан из-за загрязнения будет поглощать избыточный углерод менее эффективно и доля остающегося в атмосфере  $\text{CO}_2$  станет выше.

Метан поступает в атмосферу из природных (донные отложения водоемов и болот) и техногенных источников (сельскохозяйственное производство, свалки бытовых отходов).

Техногенные источники закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$  связаны в основном с высокотемпературным окислением молекулярного азота в процессе горения различных топлив. В естественных условиях  $\text{N}_2\text{O}$  поступает в атмосферу из почв, лесов и при грозовых разрядах.

Из-за высокой химической инертности и малой растворимости в воде среднее время жизни  $\text{NO}_2$  в атмосфере велико и составляет 120—150 лет.

Увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере особенно интенсивное в последние годы, приводит к росту эффективности поглощения инфракрасного излучения, в результате чего температура земли возрастает (рис. 2.24). К повышению температуры может привести и увеличение концентрации в атмосфере таких газов, как  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , фреонов.

Структура выбросов парниковых газов в России (рис. 2.25) более чем на 70% определяется сжиганием углеводородного топлива в энергетике, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве.

В 1995 г. по общему объему выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения Россия занимала пятое место в мире после США, Канады, Австралии и Новой Зеландии. Сегодня

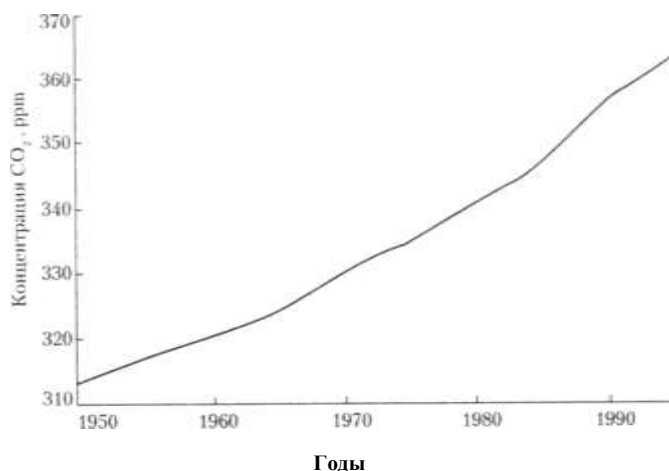


Рис. 2.24. Изменение средней концентрации углекислого газа в атмосфере Земли

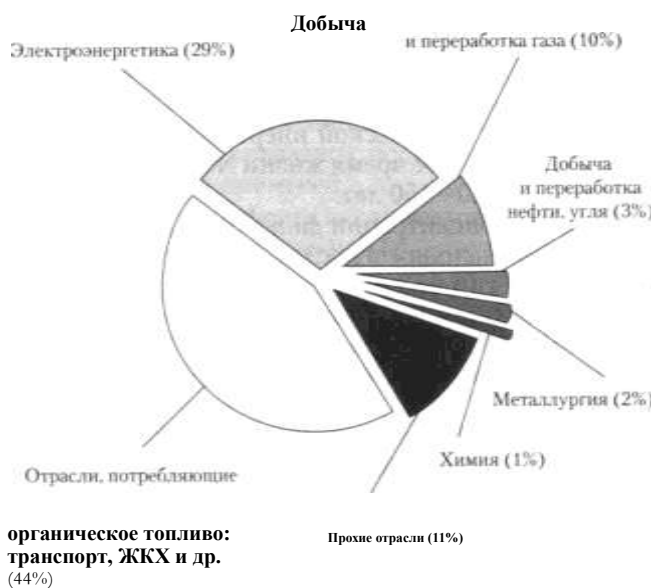


Рис. 2.25. Структура выбросов парниковых газов в России

на долю главного парникового газа — CO<sub>2</sub> приходится около 80% парникового эффекта, около 10% дает метан, на вклад остальных газов (закиси азота, фреонов) приходится остальное.

По причине резкого спада промышленного производства России в период с 1990 по 1999 г. почти на треть сократились и выбросы парниковых газов (рис. 2.2В). Однако вследствие экономического роста выбросы парниковых газов начиная с 2000 г. медленно нарастают.

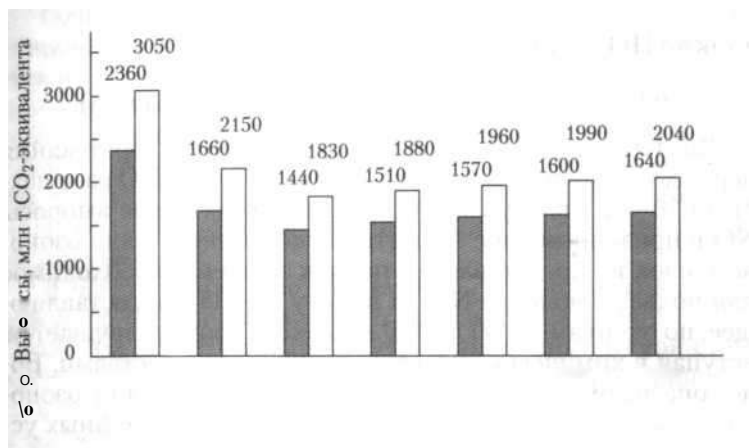
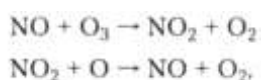


Рис. 2.26. Техногенные выбросы парниковых газов (CO<sub>2</sub> — эквивалент в год):  
1 — CO<sub>2</sub>; 2 — все парниковые газы

**Разрушение озонового слоя.** Озоновым слоем называют область атмосферы, расположенную на высотах от 18 км (в полярных областях — от 10 км) до 45 км и характеризующуюся повышенным содержанием озона. Поглощение озоновым слоем большей части биологически активного ультрафиолетового излучения Солнца с длиной волны  $\lambda < 310$  нм и перевод его в теплоту играет важнейшую роль в сохранении жизни на Земле. Во-первых, озон является единственным компонентом атмосферного воздуха, защищающим все живое на суше от губительных доз ультрафиолетового облучения в диапазоне длин волн  $\lambda = 240\text{—}310$  нм. Во-вторых, нагревая атмосферу, озоновый слой ограничивает глобальные циркуляции воздуха тропосферой, принимая тем самым непосредственное участие в формировании погоды и климата на Земле. Равновесие между процессами образования и разрушения озона нарушается при изменении солнечной активности, а также при появлении в озоновом слое веществ — катализаторов разложения озона. Среди таких катализаторов важнейшая роль принадлежит оксидам азота:



атомам хлора:  $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$ , а также HO'-радикалам:  $\text{HO}' + \text{O}_3 \rightarrow \text{O}_2 + \text{HO}_2'$  (гидропероксидный радикал).

По теоретическим оценкам, в результате протекания цепных каталитических реакций одна молекула NO разрушает до 10—12 молекул O<sub>3</sub>. Однако антропогенные выбросы NO в приземном слое существенной опасности для озонового слоя не представляют, так как за время, необходимое для подъема молекул NO на высоту 25—35 км, составляющее, по оценкам, от 30 до 120 лет, оксид азота разрушается, вступая в химические реакции с другими веществами. Более опасна эмиссия оксида азота непосредственно в озоновом слое или в близлежащих областях из двигательных установок баллистических ракет и высотных реактивных самолетов.

Однако несравнимо большую опасность для озона представляет атомарный хлор. Согласно расчетам, один атом хлора по цепной каталитической реакции разрушает до 10<sup>5</sup> молекул O<sub>3</sub>. В настоящее время выявлено два основных источника поступления атомарного хлора в стратосферу. Первый из них связан с непосредственной эмиссией хлора в озоновый слой при запусках твердотопливных баллистических ракет и космических аппаратов типа американского «Шаттла», использующих смесевые топлива на основе перхлоратов, например перхлората аммония  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ . Суммарные вы

бросы хлора в атмосферу при эпизодических запусках ракет и космических аппаратов невелики и оцениваются сотнями тонн в год.

Гораздо более мощным источником поступления хлора в атмосферу является производство фторхлоруглеродов.

Фторхлоруглеводороды (фреоны) с середины 1930-х гг. находят широкое применение в промышленности. Фреон-11 и фреон-12 использовались в качестве вспенивателей при получении пористых полимерных материалов, наполнителей в аэрозольных упаковках, а также хладагентов в холодильниках и кондиционерах.

Во второй половине 1980-х гг. во многих промышленно развитых странах были введены ограничения на производство и потребление этой продукции в связи с достигнутыми международными договоренностями о постепенном отказе от использования фторхлоруглеродов.

Однако концентрации фреонов в атмосфере будут увеличиваться еще долгие годы даже после полного прекращения их производства, поскольку среднее время пребывания фреона-11 и фреона-12 в атмосфере оценивается примерно в 55—120 лет. Кроме того, значительные концентрации фреонов 11 и 12 и

некоторых других соединений этого класса были зарегистрированы в газовых выбросах действующих вулканов и гидротермальных источников в сейсмически активных районах.

В 1986 г. в мире было произведено 700 тыс. т этих веществ, а всего с начала их массового производства в 1960-х гг. — около 5 млн т. Благодаря своей высокой химической стойкости хлорфторуглероды в процессе многолетней циркуляции с воздухом поступают из приземных слоев атмосферы в озоновый слой, где подвергаются фотодиссоциации с выделением атомарного хлора.

Еще большую опасность для озонового слоя по сравнению с хлорфторуглеродами представляют бромсодержащие фреоны  $\text{CF}_2\text{OBr}$  и  $\text{C}_2\text{F}_2\text{Br}_2$ , применяемые в пожаротушении. Атомы брома в несколько раз активнее разрушают озоновый слой по сравнению с хлором.

При истощении озонового слоя возрастает доза облучения человека ультрафиолетовыми лучами, что ведет к росту заболеваний катарактой, кожными заболеваниями, ослаблению иммунной системы организма, повреждению молекул ДНК, передающих генетическую информацию. Наибольшую опасность представляет рост заболеваемости злокачественной меланомой (раком кожи). Согласно медицинским данным истощение озонового слоя на 1% сопровождается ростом заболеваемости меланомой на 6%.

Увеличение ультрафиолетовой радиации представляет опасность для всех живых организмов на суше и в воде. Высокие дозы этого излучения за счет действия на ДНК могут вызвать мутации у микроорганизмов, привести к ухудшению качества семян, понижению сопротивляемости растений вредителям и болезням. Установлено, что ультрафиолетовые лучи вызывают повреждение клеток и тканей у растений. По расчетам, потеря 25% озона вызовет такой

рост радиации, что количество фитопланктона в океане сократится на 35% с соответствующим уменьшением его продуктивности. Истощение озонового слоя оказывает негативное влияние и на климат Земли: ведет к снижению нагрева стратосферы с соответствующим изменением характера поведения температуры воздуха в этой области и нарушением циркуляций воздушных масс в тропосфере.

Данные оценки потерь озона в Арктике весьма противоречивы. Согласно данным спутникового наблюдения к 1981 г. истощение озонового слоя составило 1%, а за семилетний период с 1981 по 1988 г. — 4%. К 2050 г. ожидается 30—50%-ное истощение озонового слоя. По другим данным, к 2015 г. истощение озонового слоя достигнет 17% и затем стабилизируется на этом уровне.

В результате техногенного воздействия на атмосферу наблюдаются следующие негативные последствия:

превышение ПДК многих токсичных веществ ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{C}_m\text{H}_m$ , бенз(а)пирена, свинца, бензола и др.) в городах и природных зонах;

образование в городах фотохимического смога при интенсивных выбросах  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_m\text{H}_m$ ;

выпадение кислотных дождей в регионах при интенсивных выбросах  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ;

проявление парникового эффекта при повышенном содержании  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$  в атмосфере, что способствует повышению ее средней температуры;

разрушение озонового слоя при поступлении в него  $\text{NO}^*$  и соединений хлора, что создает опасность УФ-облучения биосферы.

**Воздействие на гидросферу.** Гидросфера — водная среда Земли, образованная совокупностью океанов, морей, поверхностных вод суши, включая лед и снег высокогорных и полярных районов. Гидросфера на 94% состоит из вод океанов и морей, 0,03% — поверхностные воды, 4% — подземные воды, 2% — снег и льды.

В структуре *забора воды* из природных источников преобладает вид деятельности по производству и распределению электроэнергии, газа и воды. Его доля в 2006 и 2007 гг. составила 54%, а в 2008 г. — 56%. На сельское хозяйство, охоту и лесное хозяйство приходится около 23—24%, на обрабатывающее производство — 7—8% общего забора воды из природных источников в целом по России.

Состав основных веществ, загрязняющих воды, приведен в табл. 2.21.

Загрязняющие	2004	2005	2006	2008	2009
Нефтепродукты	6,6	3,7	4,6	3,1	3,1
Взвешенные вещества	392,0	359,4	327,7	311,9	291,8
Фосфор общий	23,3	23,4	23,3	22,6	22,1
Фенолы	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
СПАВ	2,2	2,3	2,3	2,1	2,2
Соединения меди	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Соединения железа	5,5	5,6	8,2	7,3	6,2
Соединения цинка	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6

Сброс загрязняющих веществ со сточными водами, тыс. т

**Поверхностные воды.** Различают экстремально высокое загрязнение (ЭВЗ) и высокое загрязнение (ВЗ) поверхностных вод различными стоками. Под экстремально высоким загрязнением поверхностных вод принят уровень, превышающий ПДК в пять и более раз для веществ 1-го и 2-го классов опасности и в 50 раз и более для веществ 3-го и 4-го классов. Под высоким загрязнением поверхностных вод принят уровень, превышающий ПДК в 3—5 раз для веществ 1-го и 2-го классов, в 10—50 раз для веществ 3-го и 4-го классов и в 30—50 раз для нефтепродуктов, фенолов, ионов марганца, меди и железа.

Максимальную нагрузку от загрязнения испытывают Обь, Волга, Амур, Енисей и Северная Двина. К наиболее опасным загрязнителям водных объектов относят соединения тяжелых металлов и органические вещества.

К **тяжелым металлам** относят ртуть, свинец, кадмий, хром, марганец, никель, кобальт, ванадий, медь, железо, цинк, сурьму, а так же металлоиды — мышьяк и селен. Особенно опасными считаются ртуть, кадмий и свинец. В воды атомы тяжелых металлов поступают из почв и горных пород в результате химического и микробиологического выщелачивания со стоками, с паводковыми и дождевыми водами, а также при осаждении из атмосферы пылевых частиц, вовлеченных в воздушный перенос. Источниками соединений тяжелых металлов для водных объектов служат предприятия машиностроения, энергетики, горнодобывающего и перерабатывающего комплекса, химические комбинаты, а также сельскохозяйственные предприятия. В случае загрязнения природных вод кислотными или основными окислами (например, диоксида серы, углекислого газа, аммиака) уменьшается значение pH природных вод. При  $pH < 7$  повышается растворимость солей тяжелых металлов, а следовательно, и концентрация ионов тяжелых металлов в водах увеличивается.

**Органические вещества.** В список составленный Агентством по охране окружающей среды США входят около 180 органических химикатов, загрязняющих водоемы. К ним относятся: различные пестициды, летучие и малолетучие хлор- органические соединения, ароматические углеводороды (бензол, ксилол, толуол и др.)

Основные количества органических загрязняющих веществ поступают в воду с промышленными и коммунальными стоками, при сливе пестицидов с сельскохозяйственных угодий, а также за счет осаждения из атмосферы.

В результате накопления органических веществ в водоемах (озерах) в начальный период происходит мощное развитие жизни (рост водорослей, планктона, рыб и т.п.), однако последующее разложение обильной органики сопровождается уменьшением в воде растворенного кислорода, возникновением процессов биодegradации, приводящих к полному зарастанию водоема растительностью (процесс эвтрофирования водоемов).

Последствием эвтрофирования является возникновение анаэробных зон, «цветение» воды, исчезновение многих биологических видов, включая ценные промысловые рыбы. «Цветение» водоемов регистрируется во многих странах мира начиная с конца XIX в. Чаще всего оно проявляется в размножении синезеленых водорослей. В этих случаях говорят о «токсическом цветении», поскольку такие водоросли способны продуцировать токсины, вследствие этого вода становится непригодной к употреблению.

*Подземные воды.* Доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения России составляет 45%. В сельской местности доля подземных вод достигает 80-85%.

Загрязнение подземных вод весьма высоко. Оно связано с деятельностью промышленных предприятий, с сельскохозяйственной деятельностью, с коммунальным хозяйством. Основными веществами, загрязняющими подземные воды, являются соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак или аммоний), сульфаты, хлориды, нефтепродукты, фенолы, соединения железа, тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, кобальт, никель, ртуть или сурьма).

В 63% интенсивность загрязнения подземных вод составляет 1—10 ПДК, в 23% изменяется в пределах 10—100 ПДК, а в 10% превышает 100 ПДК, и лишь в 4% интенсивность загрязнения не превышает ПДК.

В результате извлечения и добычи подземных вод на отдельных территориях продолжают формироваться крупные региональные депрессионные воронки, площади которых достигают значительных размеров (до 50 тыс. км<sup>2</sup>), а понижение уровня в центре — 65—130 м (города Брянск, Курск, Москва, Санкт-Петербург).



Техногенное воздействие на гидросферу приводит к следующим негативным последствиям:

снижаются запасы питьевой воды (около 40% контролируемых водоемов имеют загрязнения, превышающие 10 ПДК);

изменяются состояние и развитие фауны и флоры водоемов;

нарушается круговорот многих веществ в биосфере;

*Таблица 2.27*

снижается биомасса планеты и, как следствие, воспроизводство кислорода.

Опасны не только первичные загрязнения поверхностных вод, но и вторичные, образовавшиеся в результате химических реакций веществ в водной среде. Так, при одновременном попадании весной 1990 г. в реку Белая фенолов и хлоридов образовались диоксины, содержание которых в 147 тыс. раз превысило допустимые значения.

Большую опасность загрязненные сточные воды представляют в тех случаях, когда структура грунта не исключает их попадание в зону залегания грунтовых вод. В ряде случаев до 30—40% тяжелых металлов из почвы поступает в грунтовые воды.

***Воздействие на литосферу.*** Литосфера — верхняя твердая оболочка земли. Человеческая деятельность влияет в основном на состояние самого верхнего слоя Земли, на почвенный покров. Почва — рыхлый слой поверхностных твердых пород вместе с включенными в него водами, воздухом, животными организмами и продуктами их жизнедеятельности. Почва служит защитным слоем земной коры, в нем происходит газовый обмен между атмосферой и подземной частью гидросферы.

Литосфера не обладает свойством быстрого рассеивания попадающих в нее извне загрязнителей.

Площадь земельного фонда России составляет 1709,8 млн га. Его структура по категориям земель отражена на рис. 2.27.

Анализ качественного состояния земель показывает, что такие процессы, как опустынивание, переувлажнение, заболачивание, подтопление, затопление, зарастание кустарником и мелколесьем, дегуманизация, засоление и промышленное использование, существенно снижают площади земель сельскохозяйственного назначения, качественное состояние почв. Для

урбанизированных территорий наиболее характерными являются такие проявления, как разрушение почвенного покрова, химическое загрязнение и захламление земель промышленными и бытовыми отходами.

Химическое загрязнение почв связано со следующими причинами:

атмосферным переносом загрязняющих веществ (тяжелые металлы, кислотные осадения);

*Таблица 2.27*

сельскохозяйственным загрязнением (удобрения, пестициды);

наземным загрязнением (отходы быта и производств, отвалы топливно-энергетических комплексов, загрязнение нефтью и нефтепродуктами).

Тяжелые металлы поступают в почву преимущественно из атмосферы с выбросами промышленных предприятий



**Рис. 2.27. Структура земельного фонда России по категориям земель**

(табл. 2.22). Из атмосферы в почву тяжелые металлы попадают чаще всего в форме оксидов, где постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонат или в форму обменных катионов.

Населенный пункт	Год набл	Зона обследования радиусом (км)	Приоритетные
<b>Опасная категория загрязнения</b>			
Баймак	2005	0-1	Цинк, кадмий,
Кировград	2008	0-1	Цинк, свинец,
Нижний	2003	Сормовский	Свинец, медь,
Рудная	2007	От 0 до 1 от	Свинец, кад-
Ревда	2008	Участок	Свинец, цинк,
<b>Умеренно опасная категория загрязнения</b>			
Асбест	2004	Территория	Никель, хром,
Дальнегорск	2007	0—20 вокруг	Свинец, цинк,
Екатеринбург	2000	Территория	Медь, цинк,
Нижний	2008	Автозаводской и	Свинец, цинк,
Нижний Тагил	2006	Территория	Медь, свинец,
Полевской	2008	От 0 до 5	Никель, хром,
Первоуральск	2004	Территория	Медь, свинец,
Свирск	2007	0-1	Свинец, цинк
Учалы	2005	Территория	Кадмий,

*Таблица 2.27*

**Таблица 2.22**

Города и поселки Российской Федерации с различной категорией опасности загрязнения почв комплексом металлов

Наибольшую опасность в плане седиментации токсичных веществ из атмосферы представляют предприятия цветной и черной металлургии. Зоны загрязнений их выбросами имеют радиусы около 20—50 км, а превышение ПДК достигает 100 раз. Опасны выбросы мусоросжигающих заводов, содержащие тетраэтил свинец, ртуть, диоксины, бенз(а)пирен и т.п. Выбросы ТЭС содержат бенз(а)пирен, соединения ванадия, радионуклиды, кислоты и другие токсичные вещества. Зоны загрязнения имеют радиусы 5 км от трубы и более.

Важным показателем почв является их кислотность. Источниками кислоты и оснований являются продукты распада органических соединений, гидролиз неорганических соединений и загрязнения, вносимые в почву из атмосферы и гидросферы. В зависимости от величины рН почвы относятся к кислым ( $\text{pH} < 7$ ) и щелочным ( $\text{pH} > 7$ ).

Подкисление почвы способствует переходу соединений тяжелых металлов в растворимые соединения. Соединения тяжелых металлов и повышенная кислотность обладают *синергетическим действием* на растения.

Песчаные почвы более устойчивы к загрязнению, они не обладают способностью связывания тяжелых металлов, легко пропускают их через себя с фильтрующимися водами. На таких почвах возрастает опасность загрязнения подземных вод.

Глинистые почвы обладают способностью прочно связывать тяжелые металлы, предохраняя от загрязнения грунтовые воды. Так например, общее количество свинца, которое может задержать метровый слой такой почвы на одном гектаре, достигает 500—600 т.

Защелочивание почвы снижает скорость разложения органических веществ, так как большинство почвенных бактерий и грибов угнетаются в кислой среде. Степень кислотности влияет на растворимость алюминия в почвенном слое. Алюминий широко распространен в земной коре, присутствует в значительных количествах во многих почвенных минералах, входит в состав глинистых почв (каолин). При повышении кислотности происходит растворение соединений алюминия и переход в раствор. Образующиеся соединения обладают токсичностью для корневой системы растений.

Распространенными загрязнителями почвы являются пестициды и родственные им соединения. Без их применения потери урожая от сорняков, вредителей и

болезней могут достигать 60%. В мире производится около 1500 наименований пестицидов. В окружающую среду поступают все пестициды, производимые мировой промышленностью. Для оценки относительной опасности того или иного пестицида ввели характеристику «продолжительности жизни» его в биосфере. По этому параметру выделяют несколько групп пестицидов — препараты с продолжительностью сохранения в окружающей среде 18, 12, 6, 3 и менее 3 месяцев соответственно. Наиболее стабильны в природе (сохраняются в течение нескольких лет) хлорорганические пестициды, которые могут накапливаться в пищевых цепях.

Нефть представляет собой один из наиболее крупных видов органических загрязнителей литосферы. В состав нефти входит более 150 различных углеводородов (75% от общего состава нефти). Кроме того, в нефти содержатся азот, сера, кислородсодержащие соединения и, в зависимости от месторождения, железо, никель, медь.

Нефть и нефтепродукты попадают в почву при различных обстоятельствах: при разведке и добыче, при авариях на нефтепроводах, на транспорте, на нефтебазах и бензозаправках, из средств транспорта.

Нефтяное загрязнение почв относится к числу наиболее опасных, поскольку оно принципиально изменяет свойства почв. Нефть обволакивает почвенные частицы, в результате почва не смачивается водой, гибнет микрофлора, растения не получают должного питания. Частицы почвы слипаются, а сама нефть постепенно переходит в иное состояние, ее фракции становятся более окисленными, затвердевают, и при высоких уровнях загрязнения почва напоминает асфальтоподобную массу.

В табл. 2.23 приведены основные источники и наиболее распространенные группы веществ химического загрязнения почвы.

Техногенное воздействие на почву сопровождается:

отторжением пахотных земель или уменьшением их плодородия. По данным ООН, ежегодно в мире выводится из строя около 6 млн га плодородных земель;

чрезмерным насыщением токсичными веществами растений, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов питания растительного и животного

происхождения. В настоящее время до 70% токсичного воздействия на человека приходится на пищевые продукты;

**Таблица 2.23** Источники и вещества, загрязняющие почву

Вещества	Источники				
	Промышленно	Транспо	ТЭС	АЭС	Сельско
Тяжелые металлы и их	+	+	+	-	+
Циклические углеводороды	+	+	+	-	+
Радиоактивные вещества	+	-	+	+	-
Нитраты, нитриты, фосфаты	-	-	-	-	-

нарушением биоценозов вследствие гибели насекомых, птиц, животных, некоторых видов растений;

загрязнением грунтовых вод, особенно в зоне свалок.

#### *Промышленные и бытовые отходы. Ежегодно из недр*

страны добывается огромное количество горной массы, при этом вовлекается в оборот около трети, а используется в производстве около 7% объема добычи. Большая часть отходов не используется и скапливается в отвалах.

Примерами значительного накопления отходов, связанных с добычей полезных ископаемых, могут служить терриконы угольных шахт, отвалы вблизи карьеров при наземной добыче руд. Наиболее остро стоит вопрос утилизации отходов в угольной промышленности, поскольку на некоторых шахтах добыча каждой тонны угля сопровождается подъемом из шахт до 7—10 м<sup>3</sup> породы.

Отвалы различных производств, топливно-энергетических комплексов занимают немалые площади, выводя из пользования земельные угодья и представляя опасность для окружающей среды. Так, например, отвалы многих горных пород содержат пирит FeS<sub>2</sub>, который на воздухе самопроизвольно окисляется до серной кислоты, в результате чего в период дождей или снеготаяния образуются сильно закисленные территории.

Ежегодно в Российской Федерации образуется значительное количество промышленных отходов; так, в 2008 г. их объем составил 817,7 млн т. Более половины объема промышленных отходов приходится на угольную отрасль; около трети — отходы металлургического производства (рис. 2.28).

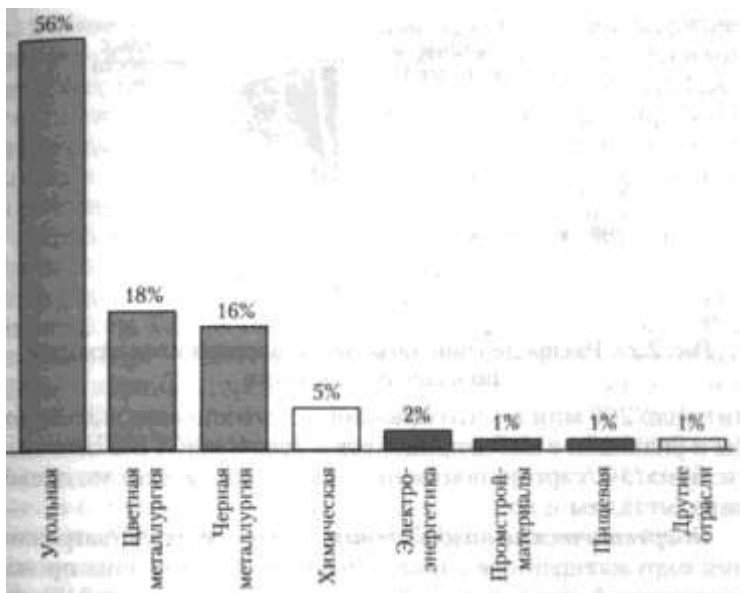


Таблица 2.27

Рис. 2.28. Доли отраслей в объеме образования отходов промышленности

Источниками загрязнения соединениями фтора являются алюминиевые заводы в Братске, Иркутске и др., предприятия по производству фосфорных удобрений и др.

В настоящее время одной из самых острых проблем является утилизация и захоронение радиоактивных отходов АЭС. Опасны и значительны отходы сельскохозяйственного производства — навоз, остатки ядохимикатов, кладбища животных.

Распределение отходов по классам опасности представлено на рис. 2.29. Отходы V класса опасности (практически не опасные) составляют 90%, IV класса (малоопасные) — 9%.

Практически весь объем образующихся токсичных отходов (95%) имеет промышленное происхождение, а остальные 5% отходов этой категории распределяются почти поровну между сельским хозяйством (3,7 млн т) и ЖКХ (3,4 млн т). По данным Госкомстата России, к 2000 г. в стране было накоплено 2 млрд т токсичных отходов, имеется 2,9 тыс мест захоронения общей площадью 22 тыс га.

Ежегодно в России образуется около 150 млн м<sup>3</sup> (30 млн т) твердых бытовых отходов (ТБО) (в том числе в Москве — 5 млн т). По прогнозам, ежегодное накопление ТБО увели-



Таблица 2.29

**Рис. 2.29.** Распределение объема образовавшихся отходов по классам опасности

чится до 200 млн м<sup>3</sup>, что объясняется увеличением доли тары и упаковки в массе продуктов и товаров. К ТБО относятся: бумага и картон, полимерные материалы, стекло, древесина, металлы и др.

**Энергетические воздействия.** Энергетические загрязнения окружающей среды, как правило, обусловлены производственной деятельностью человека. Наибольший вклад в энергетическое загрязнение окружающей среды вносят изменения ее электромагнитных параметров в диапазонах частот, соответствующих областям радиоволн, инфракрасного или теплового излучения, рентгеновского и гамма-излучения, которые вместе с  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами являются причиной радиоактивного загрязнения биосферы, а также изменения виброакустических параметров (виброакустическое загрязнение).

**Электромагнитные поля и излучения.** Основные искусственные источники ЭМП: радиолокационные, радио- и телепередающие станции, электростанции и трансформаторные подстанции, энергосиловые установки, воздушные линии электропередачи, электрифицированные железные дороги, компьютеры, широко разветвленные электрические, в том числе кабельные, сети и др. Напряженность техногенных ЭМП на значительных территориях на 2–5 порядков превышает естественный фон ЭМП.

Уровни электромагнитных излучений (ЭМИ) очень часто превосходят допустимые санитарные нормы в районах аэропортов, радио- и телестанций, военных, радиотехнических и других объектов. Например, в районе расположения теле- и радиостанции плотность потока энергии достигает сотен Вт/м<sup>2</sup> при ПДУ в рабочей зоне 10 Вт/м<sup>2</sup>.



**Тепловые загрязнения** — одно из крупных видов загрязнения окружающей среды. Только в 2000 г. отвод теплоты в мире от энергетических производств достигал 241 000 млн Гкал, что неизбежно приводило к росту температуры окружающей среды. В глобальном масштабе этот прирост теплоты невелик и приводит всего лишь к увеличению теплоты от солнечной радиации на 0,019%.

Проблема техногенного теплового загрязнения наиболее значима в региональном масштабе, поскольку оно достигает в среднем  $1,6—2,0 \text{ Вт/м}^2$  (из них на ЖКХ приходится 33% теплоты; на ТЭС и ТЭЦ — 25%, на промышленность — 29%, на транспорт — 13%). Еще более значимы тепловые загрязнения в крупных городах и около некоторых объектов экономики. Например, в Берлине выбросы теплоты —  $22 \text{ Вт/м}^2$ , в зоне ЦБК —  $2000 \text{ Вт/м}^2$ , около мощной ТЭС —  $24\,000 \text{ Вт/м}^2$ . В расчете на единицу производимой энергии АЭС сбрасывает в окружающую среду больше теплоты, чем ТЭС. Для мощных АЭС расход воды на охлаждение достигает  $180 \text{ м}^3/\text{с}$ , тогда как ТЭС аналогичной мощности потребляют всего  $70—90 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для сравнения: плотность потока солнечной радиации вблизи поверхности Земли составляет  $935 \text{ Вт/м}^2$ .

Температура поверхности Земли — важнейший из абиотических факторов, влияющих на развитие микроорганизмов, выживание животных и растений. Последнее особенно актуально, поскольку большая часть теплоты отводится в водоемы и приводит к их подогреву. Повышение температуры воды даже на несколько градусов сопровождается упрощением водных сообществ. Известно, что при температуре воды  $31^\circ\text{C}$  число видов уже вдвое меньше, чем при  $26^\circ\text{C}$ .

По общим оценкам, выбрасываемая низкопотенциальная теплота возрастает пропорционально росту производства электроэнергии и к началу XXI в. составляла около 0,02% от солнечной радиации. Учитывая темпы роста энергетики (3,5% в год) можно считать, что опасное глобальное загрязнение Земли (1—5% от количества солнечной энергии) будет достигнуто за пределами XXI в.

**Ионизирующие загрязнения.** Радиационное загрязнение окружающей среды происходит за счет поступления в нее радионуклидов, извлекаемых из глубин земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами и др. Ряд радионуклидов содержится в сжигаемых углях. Удельная активность угольной золы достигает следующих величин, Бк/кг: 265 —  $^{40}\text{K}$ , 200 —  $^{238}\text{U}$ , 240 —  $^{226}\text{Ra}$ , 930 —  $^{210}\text{Pb}$ , 1700 —  $^{210}\text{Po}$  и т.д. Индивидуальная средняя годовая доза облучения в районе ТЭС мощностью 1

млн кВт (район радиусом 20 км) может достигать 0,5 бэр. Эта доза зависит от зольности угля и эффективности очистки дымовых газов от твердых частиц (летучей золы).

Значительное количество радионуклидов содержится в удобрениях, применяемых в сельском хозяйстве. После внесения удобрений в почву радионуклиды по пищевым цепям поступают в живые организмы. Так, тройной суперфосфат (производства США) имеет удельную активность Бк/кг: 2100 -  $^{238}\text{U}$ , 1800 -  $^{238}\text{Th}$ , 780 -  $^{226}\text{Ra}$ , азотно-фосфорно-калиевые удобрения (Бельгия): 470 —  $^{238}\text{U}$ , 210 —  $^{226}\text{Ra}$ , 5900 -  $^{40}\text{K}$ .

Огромное количество радионуклидов поступило в биосферу при испытаниях ядерного оружия в 1945—1980 гг. Установлено, что основной вклад в ожидаемую эффективную эквивалентную дозу вносят радионуклиды, образовавшиеся при испытаниях:  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{144}\text{Cf}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{131}\text{I}$  и др. Доза облучения от всех этих радионуклидов составляет 400 мбэр.

Радиоактивные вещества поступают в биосферу на всех стадиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ): добыча и переработка урановых и ториевых руд, обогащение урана изотопом  $^{235}\text{U}$ , изготовление ТВЭЛов, получение энергии в ядерных реакторах, переработка отработавшего ядерного топлива, переработка, хранение и захоронение радиоактивных отходов, транспортировка радиоактивных материалов.

При добыче ураносодержащей руды образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные отходы (РАО). Газообразные отходы образуются в основном за счет  $^{222}\text{Rn}$  (до  $8 \cdot 10^9$  Бк на 1 т добытой руды), жидкие отходы определяются шахтными водами, образующимися при дренаже, и водой для технологических целей; твердые отходы — горная порода и руды с низким содержанием урана.

Основные источники потенциальной ядерной опасности — ядерные реакторы. Даже при штатной работе АЭС образуются газообразные, жидкие и твердые РАО, часть которых поступает в окружающую среду, поскольку системы очистки не дают 100% эффекта. Газообразные РАО: радиоактивные благородные газы (РБГ), например, около десяти радионуклидов Кг и Хе — продуктов деления,  $^{41}\text{Ar}$  — продукт нейтронной активации,  $^{40}\text{Ar}$ , содержащегося в воздухе и теплоносителе. Более 50 биологически значимых радионуклидов содержится в аэрозольных выбросах АЭС. Жидкие РАО: пульпа ионообменных смол,

фильтроматериалы, кубовые остатки выпарных аппаратов, в которые поступает загрязненная радионуклидами вода при эксплуатации или ремонте реактора, дебалансные воды, активность которых создается в основном за счет трития, так как система очистки не позволяет извлекать тяжелую воду из воды. Твердые РАО: отвержденные жидкие концентрированные РАО, детали оборудования реактора, снятые с эксплуатации, отработавшие материалы.

*Таблица 2 22*

Доза облучения населения зависит от времен, расстояния и типа реактора. Например, расчетная индивидуальная средняя эффективная эквивалентная годовая доза облучения населения от газоаэрозольных выбросов составляет на расстоянии 10 и 100 км соответственно для РБМК-0,135 и 0,00135 мбэр/гВт; для ВВЭР — 0,0079 и 0,00036 мбэр/гВт.

Значимый вклад в загрязнение биосферы вносят долгоживущие радионуклиды  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и изотопы трансурановых элементов, присутствующие в выбросах и сбросах заводов по переработке облученного ядерного топлива. Такой завод, перерабатывающий 1500 т отработанного топлива, создает на расстоянии до 100 км годовую эффективную эквивалентную дозу до 25 мбэр. Кроме того, в окружающую среду могут поступать отходы кислот, химреагентов для обработки жидких РАО, органических растворителей, способные загрязнять грунтовые воды на больших территориях.

На конечной стадии ЯТЦ производится захоронение высокоактивных РАО. До сих пор не определены оптимальные способы захоронений. Есть проекты захоронений в глубоких подземных выработках, например в соляных шахтах, в герметичных емкостях глубоко под землей или на дне океана и т.д. Каждый способ имеет свои недостатки, создающие угрозу глобального загрязнения в будущем. Оптимистические оценки лучших вариантов, например отверждение отходов с последующим захоронением в геологически стабильных районах, показывают, что заметные количества радиоактивных веществ достигнут биосферы через  $10^5$ — $10^6$  лет.

**Виброакустические загрязнения.** Деятельность человека в биосфере сопряжена с невольным и все возрастающим производством ненужных для людей, фауны, флоры звуков — шумов, а также вибраций.

Шум в окружающей среде вызывается источниками, находящимися снаружи или внутри здания: средствами транспорта, оборудованием предприятий,

вентиляторами, компрессорными установками, станциями для испытания двигателей и генераторов, аэрогазодинамическими установками, электрическими трансформаторами. Нарастание шума происходит и вне городской среды: шум наземного, водного, воздушного транспорта, сельхозмашин, ветровых электростанций. Очевиден шумовой прессинг на все живое: растительный и животный мир, на человека. На рис. 2.30

Таблица 2.27



**Рис. 2.30. Зоны распространения шума и вибраций в Москве:**

**Шум: 1 — от авиации; 2 — от автотранспорта; 3 — от железнодорожного транспорта; 4 — от метрополитена; 5 — от вибрации; 6 — от промзон**

показаны зоны распространения шума и вибраций в Москве, на крупных магистралях которой шум достигает 80 дБА.

В многонаселенных городах интенсивность шума каждые 25—30 лет возрастает примерно в 10 раз, т.е. на 10 дБ А.

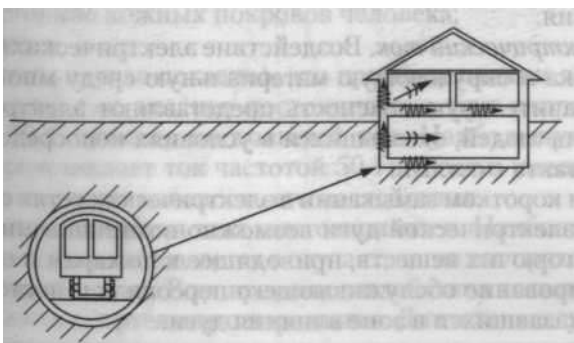
Источники вибраций в окружающей среде: оборудование ударного действия (молоты, машины для забивания свай под фундаменты зданий), рельсовый

транспорт, мощные энергетические установки (насосы, компрессоры, двигатели), инженерное оборудование зданий (лифты, насосные установки), системы отопления, канализации. Вибрации, часто сопровождаемые звуковыми колебаниями, распространяются по грунту и достигают фундаментов жилых и общественных зданий, инженерных сооружений. Это может вызвать неравномерность осадки грунта и фундамента, особенно при высокой насыщенности грунта влагой, и разрушений размещенных на них зданий и сооружений. Во всех случаях вибрации вызывают раздражающее действие.

Протяженность зоны воздействия вибраций в окружающей среде определяется интенсивностью (амплитудой) вибрации источника (фундамента машины), а также величиной затухания вибраций в грунте и может достигать 150-200 м.

С проблемой вибрации сталкиваются и в быту, когда, например, жилой дом располагается у железной дороги, автострады или когда в его подвальных помещениях размещается какое-либо технологическое оборудование.

Механизм, с помощью которого движущийся поезд (рис. 2.31) возбуждает вибрации грунта, основан на возникновении динамических сил между колесом и рельсом из-за



**Рис- 2.31. Распространение вибраций от поезда метрополитена по грунту**

неровностей на поверхностях качения. В интервале эксплуатационной скорости движения поездов от 30 до 110 км/ч спектр вибрации, передаваемой грунту, сосредоточен в частотном диапазоне 10—250 Гц.

**Чрезвычайные локально действующие опасности.** Кроме рассмотренных выше опасностей, действующих длительно, в течение всего времени

пребывания человека в опасной зоне на него могут оказывать воздействие и спонтанно возникающие травмоопасности, такие как электрический ток, движущиеся механические устройства, режущие и колющие предметы, падение с высоты и т.п.

Возникновение таких опасностей возможно при неправильной эксплуатации электрических сетей, средств транспорта, подъемно-транспортного оборудования, различного инструмента. 1таблица 2.21

Возникновение чрезвычайных ситуаций в промышленных условиях и в быту часто связано с разгерметизацией систем повышенного давления (баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газопроводов, систем теплоснабжения и т.п.).

В чрезвычайных ситуациях проявление первичных негативных факторов (обрушение конструкций, столкновение транспортных средств и т.п.) может вызвать цепь вторичных негативных воздействий (эффект «домино») — пожар, загазованность или затопление помещений, разрушение систем повышенного давления, химическое, радиоактивное и бактериальное воздействие и т.п. Последствия (число травм и жертв, материальный ущерб) от действия вторичных факторов часто превышают потери от первичного воздействия.

**Электрический ток.** Воздействие электрических сетей на человека и окружающую материальную среду многообразно. Значительную опасность представляют электрические сети для людей, оказавшихся в условиях непосредственного контакта с сетями.

При коротком замыкании в электрических сетях с образования электрической дуги возможно возникновение возгораний горючих веществ, приводящее к пожарам и взрывам, травмирование обслуживающего персонала и посторонних лиц, оказавшихся в зоне влияния дуги.

Опасность поражения человека электрическим током определяется прежде всего величиной тока  $I_{\text{ч}}$ , проходящего через тело человека. Его определяют по формуле

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{пр}} / R_{\text{ч}}$$

где  $U$  — напряжение прикосновения;  $R$  — сопротивление тела человека.

Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Электрический ток оказывает действие на нервные клетки, кровеносные сосуды и кровь, сердце, головной мозг, органы дыхания и т.д. Наиболее часто встречаются: судороги, фибрилляция сердца, прекращение дыхания, паралич сердца и ожоги.

Минимальная величина тока, под которым возникает судорожное сокращение мышц, называют **пороговым неотпускающим током**. Его значение для переменного тока частотой 50 Гц лежит в пределах 6—16 мА. Дальнейший рост переменного тока частотой 50 Гц сопровождается следующими воздействиями:

Сила	Воздействие
20-25	Паралич рук, дыхание
50-80	Паралич дыхания
90-100	Фибрилляция сердца
>300	Паралич сердца

Важными факторами, влияющими на результат воздействия электрического тока на человека, являются:

род тока и частота;

путь прохождения тока;

время его действия;

температура и влажность воздуха;

состояние кожных покровов человека;

другие.

В общем случае показано, что при напряжении до 500 В переменный ток опаснее постоянного, а при напряжении более 500 В опаснее постоянный ток. Наибольшую опасность представляет ток частотой 50 Гц. Рост и уменьшение частоты снижают опасность его воздействия.

Путь прохождения тока многовариантен. Наиболее опасное воздействие наблюдается в случаях, когда ток проходит через сердце или мозг. Рост времени воздействия тока повышает опасность смертельного поражения. Длительные судороги мышц могут привести к остановке дыхания и сердца.

Сопротивление тела человека во многом зависит от состояния его кожных покровов. Если кожа увлажнена, имеет

трещины, то ее сопротивление значительно уменьшается, достигая значений 650—1000 Ом и приближаясь к внутреннему сопротивлению, равному 650—800 Ом.

Опасность поражения человека электрическим током зависит от состояния и вида помещения, где применяются электрические сети и электроустановки. По опасности поражения током различают:

помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий:

сырости (относительная влажность длительно превышает 75%) или токопроводящей пыли;

токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные и т.п.);

высокой температуры, постоянно или периодически (более суток) превышающей +350°C;

возможности одновременного прикосновения к металлическим корпусам электрооборудования, с одной стороны, и к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п. — с другой. Сюда можно отнести, например, складские неотапливаемые помещения;

помещения особо опасные, характеризующиеся одним из следующих признаков:

особой сыростью (влажность близка к 100%);

химически активной или органической средой, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования;

наличием одновременно двух или более условий повышенной опасности. К таким помещениям относится большая часть производственных помещений;

территории размещения наружных электроустановок, которые по опасности поражения током приравниваются к особо опасным помещениям.



Опасность поражения человека электрическим током наступает вследствие:

напряжения шага, которое равно напряжению между точками земли, обусловленному растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека. Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых находятся ноги человека. Поле потенциа

лов на поверхности земли может возникнуть, например, при замыкании провода на землю в результате его обрыва, при отекании тока с заземлителя и т.п.;

прикосновения к незаизолированным токоведущим частям, когда человек одновременно находится в контакте с потенциалом земли или другой токоведущей частью иного потенциала (прямое прикосновение) или прикосновения к части электрического оборудования, которая находится под напряжением, вследствие повреждения изоляции, когда человек находится в контакте с потенциалом земли или другой проводящей частью оборудования иного потенциала (косвенное прикосновение);

образования электрической дуги между токоведущей частью установки и человеком, что возможно в электрических установках напряжением свыше 1000 В.

*Напряжение шага.* Для анализа растекания тока в грунте принимаем, что ток стекает в грунт через одиночный заземлитель полусферической формы (рис. 2.32), грунт однородный и изотропный, его удельное сопротивление  $\rho$  во много раз превышает удельное сопротивление материала заземлителя.

Тогда потенциал  $\varphi_A$  точки А на расстоянии  $x$  выразится

зависимостью  $\varphi_A = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$ , а  $\varphi_3$  на заземлителе равно  $\frac{I_3 \rho}{2\pi r}$ , где

$I_3$  — ток, стекающий с заземлителя в грунт.

Таким образом, потенциал на поверхности грунта распределяется по закону гиперболы (рис. 2.33). Максимальным потенциал будет при  $x = r$ .

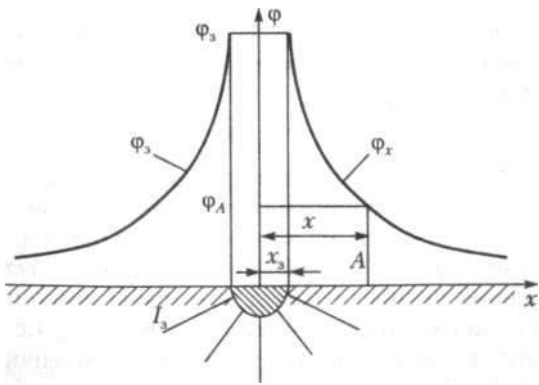


Таблица 2.27

Рис. 2.32. Растекание тока в грунте

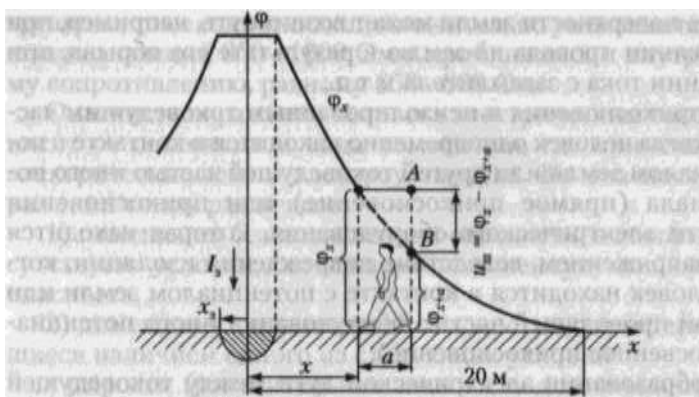


Рис. 2.33. Напряжение шага

Зону земли, за пределами которой электрический потенциал, обусловленный токами замыкания на землю, может быть условно принят равным нулю, называют зоной растекания тока замыкания на землю. Зона растекания тока простирается, в среднем, на расстояние до 20 м от места замыкания на землю.

При расположении одной ноги человека на расстоянии  $x$  от упавшего провода заземлителя и ширине шага, которая обычно принимается за 1 м, получаем

$$U_m = \varphi_x(x+a) = U_0 \beta,$$

где  $\beta = \frac{ax_3}{x(x+a)}$  — коэффициент напряжения шага, который

зависит от расстояния заземлителя и ширины шага (чем ближе к заземлителю и шире шаг, тем коэффициент  $\beta$  больше).

Электрический ток через тело человека, обусловленный напряжением шага, равен

$$I_{\text{ш}} = U_{\text{ш}} / R_{\text{ш}}$$

где  $R_{\text{ш}}$  — сопротивление в цепи протекания тока через человека, состоящее из сопротивлений тела человека, обуви и опорной поверхности, на которой он находится.

*Таблица 2.27*

*Опасность поражения током в электрических сетях.* Случаи поражения человека током возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека, т.е. при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует напряжение (разность потенциалов). Опасность такого прикосновения зависит от ряда

факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей относительно земли.

Схемы включения человека в электрическую цепь могут быть различными (рис. 2.34). Наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя проводами (двухфазное включение) и между одним проводом и землей (однофазное включение). Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей. Двухфазное включение — прикосновение человека одновременно к двум фазам, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение — линейное, и поэтому через тело человека пройдет ток силой

$$I_{\text{ш}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ш}} = 1,73 U_{\text{ф}} / R_{\text{ш}}$$

где  $u_{\text{л}}$  — линейное напряжение, т.е. напряжение между фазными проводами сети;  $u_{\text{ф}}$  — фазное напряжение;  $U_{\text{л}} = 1,73 u_{\text{ф}}$ .

*Двухфазное включение* является одинаково опасным в сети как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. При этом изоляция человека от земли, например с помощью диэлектрического коврика, не уменьшит опасность поражения.

*Однофазное включение* происходит значительно чаще, но является менее опасным, чем двухфазное, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает

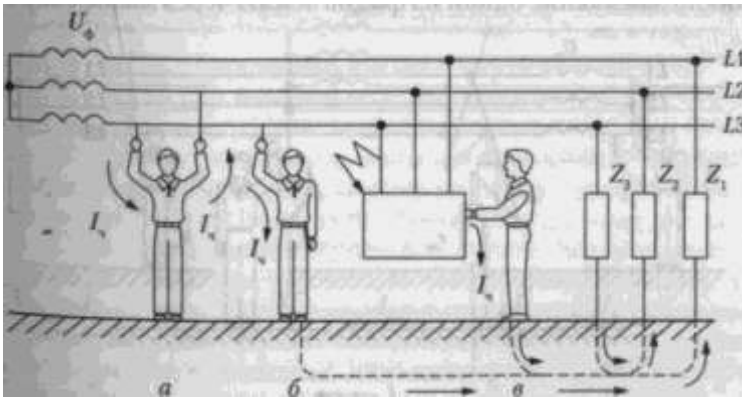


Таблица 2.27

**Λ<sup>c</sup>- 2.34. Случаи включения человека в электрическую цепь:**

**a** — двухфазное; **б** и **в** — однофазное (прямое и косвенное);

**Z** — полное сопротивление фазы относительно земли

фазного. Соответственно меньше будет и ток, проходящий через тело человека. Кроме того, на значение этого тока влияют режим нейтрали источника тока, сопротивление изоляции и емкость проводов относительно земли, сопротивление пола, на котором стоит человек, сопротивление его обуви и другие факторы.

Рассмотрим подробнее получившее широкое распространение трехфазные сети напряжением до 1 кВ при нормальном и аварийном режимах работы. Это сети трехпроводные с изолированной нейтралью и сети с глухо заземленной нейтралью.

В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью ток, проходящий через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период ее нормальной работы определяют следующим выражением:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч} + r/3}$$

где  $r$  — сопротивление изоляции провода.

Из этого выражения следует, что с увеличением сопротивления изоляции опасность поражения током уменьшается. Поэтому очень важно в таких сетях обеспечивать высокое сопротивление изоляции и контролировать ее состояние для своевременного выявления и устранения возникших неисправностей.

При аварийном режиме работы сети (рис. 2.35), когда возникло замыкание одной из фаз на землю через малое сопро-

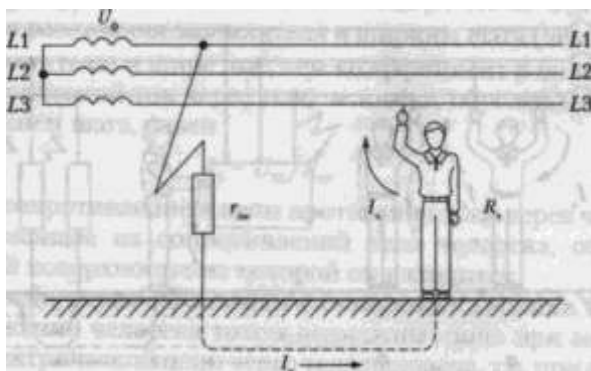


Таблица 2.27

**Рис. 2.35.** Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме

тивление  $r_{эм}$ , ее напряжение относительно земли снижается, поскольку  $z_{эм} \ll z$ .

При этом напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения. Таким образом, этот случай прикосновения опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы.

В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном режиме работы сети (рис. 2.36, а) ток, проходящий через тело человека, равен

$$I_ч = U_ф / (R_ч + r_0),$$

где  $r_0$  — сопротивление заземления нейтрали.

Как правило,  $r_0 < 8 \text{ Ом}$  и  $r_0 \ll R_ч$ , следовательно, без боль-

шой ошибки в расчетах можно пренебречь значением  $r_0$  и считать, что человек оказывается практически под фазным напряжением  $C/\phi$ , а ток  $I_ч \approx U_ф / R_ч$ .

Ограничить силу то-

ка, проходящего через человека, можно, увеличив сопротивление  $R_ч$ , например, используя диэлектрическую обувь, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Отсюда следует, что прикосновение к фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью в период нормальной ее работы более опасно, чем прикосновение к фазе нормально работающей сети с изолированной нейтралью.

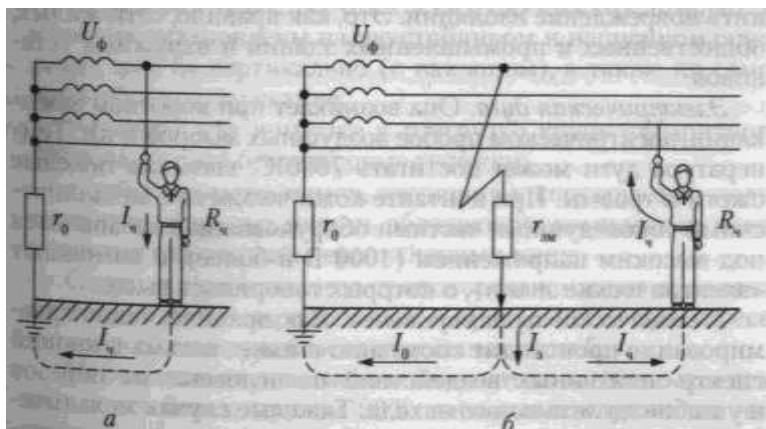


Таблица 2.27

**Рис. 2.36. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:**

**а — при нормальном режиме; б — при аварийном режиме**

При аварийном режиме, когда одна из фаз сети замкнута на землю через относительно малое сопротивление  $r_{зм}$  (рис. 2.36, б), напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного. Таким образом, прикосновение к исправной фазе сети с заземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Вышеприведенный анализ сетей напряжением до 1 кВ показывает, что в случае прикосновения к фазному проводу в период нормального режима работы сети более безопасной является, как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период — сеть с заземленной нейтралью. Следовательно, сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов. Такими являются малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором квалифицированного персонала, например сети электротехнических лабораторий.

Сеть с заземленной нейтралью из условий безопасности следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой

влажности, агрессивной среды и пр.), нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции. Это, как правило, сети жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок.

*Электрическая дуга.* Она возникает при коротком замыкании, электрическом пробое воздушных зазоров и т.п. Температура дуги может достигать 7000°C, вызывая тяжелые ожоги и травмы. При контакте кожи человека с металлическими токоведущими частями оборудования, оказавшимся под высоким напряжением (1000 В и более), и возникают «электрические знаки», о которых говорилось выше.

*Механическое травмирование.* Как правило, такое травмирование происходит спонтанно и имеет весьма широкий спектр негативных воздействий на человека: от порезов и ушибов до летального исхода. Тяжелые случаи механического травмирования связаны обычно с техногенными авариями или со стихийными явлениями.

Механическое травмирование человека в производственных условиях и в быту возможно при:

несанкционированном взаимодействии с различными устройствами и механизмами (конвейеры, роботы, подъемно-транспортное оборудование, средства транспорта, бытовая техника и т.п.);

падении человека и различных предметов;

поражении потоками вещества, ударной волной, фрагментами разрушающихся систем повышенного давления, тепловых и иных сетей и т.п.;

контакте с режущими и колющими предметами, с шероховатыми и рваными поверхностями.

Основные опасности, возникающие при эксплуатации подъемно-транспортных машин и устройств:

падение груза с высоты вследствие разрыва каната или неисправности грузозахватного устройства;

разрушение металлоконструкции крана (тягового органа — в конвейерных установках);

потеря устойчивости и падение стреловых самоходных кранов;

спадение каната или цепи с блока, особенно при подъеме груза, кроме того, при раскатке блока возможно соскальзывание каната или цепи с крюка;

при использовании ручных лебедок возможно травмирование как самим грузом, так и приводными рукоятками из-за самопроизвольного опускания груза;

срыв винтовых, реечных и гидравлических домкратов, ~~таблиц 4-11~~ установленные на неустойчивом и непрочном основании или не вертикально (с наклоном), а также их самопроизвольное опускание;

травмы при погрузке и разгрузке крупногабаритного груза на ручные безрельсовые тележки;

действия механизмов, входящих в конструкцию подъемно-транспортных машин, обладающих комплексом механических опасностей, перечисленных выше.

Опасная зона подъемно-транспортных машин не является постоянной и перемещается в пространстве при пересечении всей машины или ее отдельных частей.

Несчастные случаи часто возникают на ленточных и цепных конвейерах, причем 90% несчастных случаев на них происходит в момент устранения на ходу конвейера неполадок вследствие захвата тела и одежды набегающими движущимися частями оборудования. Поэтому на работающем конвейере запрещается исправлять смещение (сбег) ленты и устранять ее пробуксовку, убирать просыпавшийся и налипающий материал, подметать под конвейером.

Источником серьезных механических травм может быть инструмент, как ручной (отвертки, ножи, напильники, зубила, молотки, пилы, рубанки и т.д.), так и механизированный (дрели, перфораторы, рубанки, пилы с электро- и пневмоприводом). Как правило, этими видами инструментов повреждаются пальцы и руки при их попадании в зону обработки материала, а также глаза, которые могут быть травмированы отлетающими из зоны обработки осколками, стружкой, пылью.

Другими причинами получения механических травм могут являться:

падение на скользком полу, особенно в случаях, когда на полу есть пятна разлитого или вытекшего из оборудования масла и других жидкостей;



падение с высоты или с неустойчивого основания, на котором стоит человек;  
воздействие роботов и манипуляторов при попадании человека в зону их действия;  
воздействие других, менее типичных причин, например разрушение емкостей, находящихся под давлением, падение предметов с высоты, обрушение строительных конструкций и т.д.

*Таблица 2.27*

**Системы повышенного давления.** Значительную опасность для населения представляют бытовые газовые баллоны и трубы. Нарушение правил безопасности при эксплуатации газовых систем и их изношенность приводят к взрывам бытового газа, часто сопровождающимся разрушением строительных конструкций и гибелью людей.

**Транспортные аварии.** Эти аварии почти всегда имеют техногенное или антропогенно-техногенное происхождение. Большинство аварий обусловлено, как правило, ошибочными действиями людей. Так, по данным ИКАО, причины авиационных катастроф распределяются следующим образом:

- действия пилотов — 75—80%;
- неправильное управление полетом с земли — 3—6%;
- ошибки метеослужб — 5—6%;
- техническая неисправность самолетов — 10—12%;
- другие причины — 2—5%.

Транспортные аварии происходят внезапно, что делает их непредсказуемыми во времени.

**Региональные и глобальные чрезвычайные опасности.**

Чрезвычайные опасности, спонтанно возникая и обладая высокими уровнями воздействия человека, как правило, травмируют большие группы людей, а промышленные объекты, селитебные зоны и природу разрушают. Основными источниками таких опасностей являются:

- пожаро-, взрыво-, химически и радиационно опасные производственные объекты (АЭС, ракетные комплексы и т.п.);

газовые, нефтяные, тепловые, электрические комплексы, их коммуникации и сети;

новые технологии, направленные на получение энергии, развитие промышленных, транспортных и других комплексов;

влияние стихийных природных явлений, способных вызывать аварии и катастрофы на промышленных и иных объектах. *Таблица 2.27*

Для России в силу особенностей, связанных со структурными изменениями в экономике, к числу источников чрезвычайной техногенной опасности также относятся:

остановка ряда производств, обусловившая нарушение хозяйственных связей и сбои в технологических цепочках;

высокий уровень износа основных производственных средств, достигающих по ряду отраслей 80% и более;

накопление отходов производства и быта, представляющих угрозу распространения токсичных веществ в природной среде;

снижение требовательности и эффективности работы надзорных организаций и государственных инспекций;

снижение технологической и трудовой дисциплины работающих.

Основными причинами крупных техногенных аварий в последние годы являются:

отказ технических систем из-за дефектов изготовления и нарушения режимов эксплуатации; многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них весьма высока и оценивается величиной  $10^{-4}$  и более;

ошибочные действия операторов технических систем; статистические данные показывают, что более 60% аварий произошло в результате ошибок обслуживающего персонала;

концентрация различных производств в промышленных зонах без должного изучения их взаимовлияния.

Одной из распространенных причин пожаров и взрывов, особенно на объектах нефтегазового и химического производства и при эксплуатации средств транспорта, являются разряды статического электричества.

Далее мы рассмотрим различные виды аварий подробнее.

*Авария радиационная* — потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, <sup>таблица 2.27</sup> неправильными действиями персонала, стихийными явлениями или иными причинами, которые могут привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

К настоящему времени произошло немало радиационных аварий различной тяжести на предприятиях ядерной энергетики, в медицине и промышленной радиологии. Особое место среди них занимает Чернобыльская трагедия 1986 г. Это крупнейшая техногенная катастрофа XX в. Только в России общая площадь радиоактивного загрязнения с плотностью свыше 1 Ки/км<sup>2</sup> по цезию-137 достигает более 50 тыс. км<sup>2</sup>. На этих территориях в настоящее время проживает более трех миллионов человек<sup>1</sup>.

Из всех объектов, использующих источники ионизирующих излучений, наибольшую опасность как возможные источники радиоактивных загрязнений окружающей среды и радиационного облучения населения представляют предприятия ядерного топливного цикла, к которым относятся:

предприятия, осуществляющие добычу ядерного топлива, его переработку, транспортировку топлива и его отходов;

системы ядерного оружия, заводы по их производству, переработке и склады (базы) такого оружия;

атомный военный и гражданский флоты;

предприятия по изготовлению тепловыделяющих элементов;

атомные станции;

хранилища использованного ядерного топлива;

могильники отработанного ядерного топлива.

По назначению различают следующие ядерные реакторы: для исследовательских целей, для производства искусственных изотопов, для

производства электрической и тепловой энергии (энергетические реакторы), для металлургии и химической технологии, для транспортных систем (корабли, летательные аппараты), для медицинских и технологических целей.

Особое место занимают атомные электростанции (АЭС). Это связано с тем, что именно в процессе работы станции образуется подавляющая часть искусственных радиоактивных продуктов, активность и концентрация которых в реакторе чрезвычайно высоки. Аварии на АЭС, как показывает практика, могут привести к попаданию радиоактивных веществ в окружающую природную среду и радиационному поражению людей, животных и растительности на значительных территориях.

Основным элементом любой атомной станции является ядерный реактор. Они классифицируются по различным признакам: физическим, конструктивным, по составу и размещению ядерного горючего, по типу замедлителя нейтронов и горючего, по назначению и т.д. Принципиальные схемы устройства большинства реакторов во многом одинаковы. Любой ядерный реактор состоит из активной зоны, систем защиты и управления мощностью и ряда вспомогательных систем.

Ядерная энергетика основана на использовании ядерного топлива, в качестве которого применяют три делящихся радионуклида: уран-235 (естественный радионуклид) и два других — плутоний-239 и уран-238 (их получают искусственным путем в процессе ядерного топливного цикла). Конечной целью цикла является получение электричества или теплоты. Схема АЭС показана на рис. 2.37.

В отечественной ядерной технологии широкое применение нашли водородные энергетические реакторы (ВВЭР) и водо-графитовые реакторы канального типа (РБМК — реактор большой мощности канальный, именно последние были установлены на Чернобыльской АЭС).

Основные параметры отечественных реакторов представлены в табл. 2.24.

По данным Международного агентства по использованию атомной энергии (МАГАТЭ), за последние 20 лет в 14 странах мира на АЭС имели место, в среднем, около 10 аварий различной тяжести в год. По тем же данным, основные причины аварий сведены в табл. 2.25. Аварии, как правило, приводят к выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду.

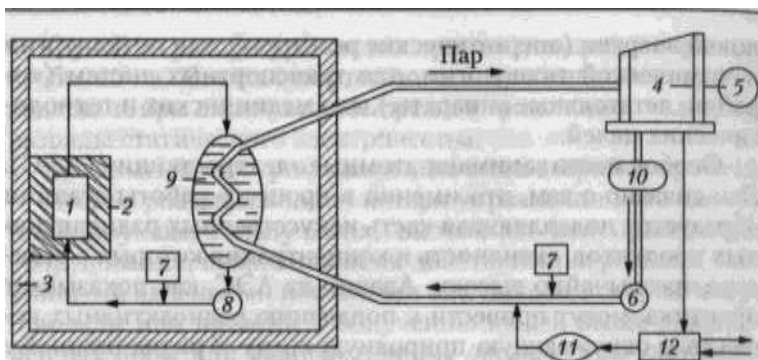


Таблица 2.27

Рис. 2.37. Принципиальная технологическая схема АЭС:

**1** — реактор; **2** — первичная биологическая защита; **3** — вторичная биологическая защита; **4** — турбина; **5** — электрогенератор; **6** — компрессор; **7** — емкость для пополнения теплоносителя; **8** — циркуляционный насос; **9** — парогенератор; **10** — конденсатор; **11** — подогреватель; **12** — сетевой теплообменник

Таблица 2.24

Основные параметры отечественных ядерных реакторов

Параметр	ВВЭР-	РБМК-
Мощность, МВт;		
электрическая	1000	1000
тепловая	3000	3200
КПД, %	34	31
Давление в первом контуре, МПа	16	7
Расход воды через реактор, т/ч	80 000	58 000
Теплоноситель	Вода	Вода
Температура теплоносителя на входе	322	284
Загрузка топливом по диоксиду	80	228
Количество ТВЭЛов	50 800	60 950

В табл. 2.26 приведены сравнительные характеристики негативного воздействия ядерных взрывов и аварии на ЧАЭС.

На безопасность АЭС могут влиять аварийные ситуации (инциденты) и аварии. В России в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ для оценки значимости с точки зрения безопасности событий, происходящих на ядерных установках и объектах, используется Международная шкала ядерных событий INES

(International Nuclear Events Scale). Она оценивает все нештатные события на ядерных объектах по Основные причины аварий на АЭС

Причины аварий	Процент аварий
Ошибки в проектах (дефекты)	30,7
Износ	25,5
Ошибки оператора	17,5
Ошибки в эксплуатации	14,7
Прочие причины	11,6

**Таблица 2.26**

Сравнительные характеристики негативного воздействия ядерных взрывов и аварии на ЧАЭС

Характеристики загрязнения	Ядерн	Авария
Температура облака, °С	100	2500
Высота подъема облака, км	10-20	0 5
Продолжительность	0,2	>100
Активность радиоактивных		
через 1 час	$5 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^9$
через 1 год	$9 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^8$
через 10 лет	$3 \cdot 10^5$	4,4 •

8-балльной шкале. За нулевой уровень приняты события, несущественные для безопасности. Далее следуют уровни 1 (аномалия), 2 (инцидент), 3 (серьезный инцидент: очень малый выброс: облучение населения на уровне долей установленных пределов). Уровни, начиная с четвертого, описываются как авария. Уровень 4 — это авария без значительного риска за пределами площадки (незначительный выброс: облучение населения на уровне величин, сравнимых с установленными пределами), 5 — авария с риском за пределами площадки (ограниченный выброс, который, вероятно, потребует частичного осуществления контрмер), 6 — серьезная авария (значительный выброс, который, вероятно, потребует полной реализации запланированных контрмер), 7 — крупная авария (крупный выброс, значительные последствия для здоровья).

**Химические аварии** — это чрезвычайные события, сопровождающиеся проливом или выбросом аварийно химических опасных веществ (АХОВ), способные привести к гибели или химическому заражению людей, животных и др.

К высокотоксичным и токсичным химическим веществам относятся органические и неорганические производные мышьяка, ртути, кадмия, свинца, таллия, минеральные и органические кислоты, щелочи, аммиак, соединения серы, некоторые спирты и альдегиды кислот, хлор, фосген, хлористый и бромистый метил и их производные и др. К малотоксичным и нетоксичным химическим веществам относится основная масса химических соединений, которые, по существу, не представляют серьезной опасности для человека и животных.

Особую группу веществ составляют пестициды — препараты, предназначенные для борьбы с вредителями сельского хозяйства, сорняками и т.п. Многие из пестицидов весьма опасны для человека, однако привести к массовым санитарным потерям они не могут. По химическому строению пестициды можно разделить на восемь групп:

фосфорорганические соединения (паратион, карбофос, хлорофос, дихлофос и др.);

карбоматы (севин, карботин и др.);

хлорорганические соединения (ДДТ, дильдрин, гексохлоран);

ртутьорганические соединения (метилртуть, ацетат метоксиэтил ртути и др.);

производные феноксиуксусной кислоты;

производные дипиридила (паракват, дикват и др.);

органические нитросоединения (динитроортокрезол — ДНОК, динитрофенол — ДНФ);

прочие.

Большинство из вышперечисленных химических веществ может стать причиной тяжелого поражения человека. Однако привести к массовым людским потерям в результате аварий, сопровождаемых выбросами (утечками), могут не все из них, включая даже высокотоксичные вещества. Только часть химических соединений, имеющих способность легко переходить в аварийных ситуациях в основное поражающее состояние (пар или тонкодисперсный аэрозоль), при сочетании определенных физико-химических и токсических свойств, а также при крупнотоннажности производства, потребления, хранения и перевозок, может стать причиной массовых поражений

людей. Эти химические соединения и относят к АХОВ, воздействие которых на человека может

вызвать острые и хронические заболевания людей или их гибель.

Для количественной характеристики различных АХОВ пользуются величинами токсических доз, учитывающих путь проникновения вещества в организм человека. Под токсической дозой в воздушной среде понимается произведение  $Ct$ , где  $C$  — средняя по времени концентрация вещества в воздухе,  $t$  — время пребывания. Для оценки содержания АХОВ в воздухе применяют токсодозы:  $PCt_{50}$  — средняя пороговая токсодоза, вызывающая начальные симптомы у 50% пораженных;  $LCt50$  — средняя смертельная токсодоза, вызывающая смертельный исход у 50% пораженных.

Основные физико-химические и токсические характеристики наиболее распространенных АХОВ приведены в табл. 2.27.

В зависимости от поражающего действия на организм человека все АХОВ подразделяются на шесть групп.

Вещества с преимущественно удушающим действием. К ним относятся хлор, хлорпикрин, треххлористый фосфор, хлориды серы, фосген и др. Для них главным объектом воздействия являются дыхательные пути. Некоторые агенты этой группы воздействуют на слизистые органов дыхания и глаз, вызывают сильное их раздражение, а вслед за этим воспалительно-некротические изменения в слизистых дыхательных путей.

Вещества преимущественно общеядовитого действия. К ним относятся окись углерода, синильная кислота, оксиды азота, сероводород, цианиды и др. Они способны вызывать острые нарушения энергетического обмена, что в тяжелых случаях может стать причиной гибели пораженных. Для этих веществ характерно бурное течение интоксикации.

Вещества удушающего и общеядовитого действия. К ним относятся сернистый ангидрид, сероводород, акрилонитрил, окислы азота и др. Они способны при ингаляционном воздействии вызывать токсический отек легких, а при кожно-резорбтивном воздействии — нарушать энергетический обмен.

Нейротропные яды — вещества, действующие на генерацию, проведение и передачу нервного импульса. Типичными их представителями являются сероуглерод и фосфорорганические соединения.



Вещества удушающего и нейротропного действия. Типичным и наиболее часто встречающимся представителем таких веществ является аммиак. При ингаляционном его воздействии в течение 60 минут с концентрацией 1,5 г/м<sup>3</sup>

### Основные характеристики АХОВ<sup>1</sup>

Вещество	Плотность,		t °C	ПДК <sub>кз</sub>	PCt <sub>50</sub>	LCt <sub>50</sub>
	газа	жидко				
Аммиак	0,000	0,681	-33,4	20	15,0	150
Мышьяковистый	0,003	1,64	-62,5	0,1	0,2	6
Фтористый	0,000	0,989	19,4	0,5	4,0	40
Хлорид	0,001	1,191	-85,1	5	2,0	24
Бромид	0,003	1,490	-67,8	2,0	2,4	6
Цианид	0,000	0,689	25,6	3,0	0,2	150
Сероводород	0,001	0,964	60,4	10,0	1,0	6
Формальдегид	0,001	0,815	-19,3	0,5	0,6	150
Фосген	0,003	1,420	8,2	0,5	0,55	6
Хлор	0,003	1,533	-34,1	1	0,6	3,0
Хлорпиктин	0,005	1,658	113,0	-	0,02	6,0
Хлорциан	0,002	1,258	12,6	-	0,9	20,0
Метиламин	0,001	0,699	-6,5	-	1,2	11,0
Оксид этилена	0,001	0,882	10,7	1,0	2,2	-
Хлористый	0,002	0,983	-23,8	-	10,8	25,0
Диметиламин	0,002	0,680	6,9	-	0,2	-
Фосфор	—	1,570	75,3	—	3,0	—
Оксид	0,001	0,968	-191,6	20,0	20,0	37,5

возникает токсический отек легких, на фоне которого формируется тяжелое поражение нервной системы. При концентрации 3,5 г/м<sup>3</sup> в течение нескольких минут может проявиться общерезорбтивное действие, а в первые же минуты проявляется раздражающее — спазмы, угнетение дыхательного центра и сердечной деятельности. В последующем поражение парами аммиака приводит к развитию воспалительных процессов верхних дыхательных путей и токсическому отеку легких. Оказывает выраженное действие на центральную нервную систему — возбуждение, судороги.

<sup>1</sup> В табл. 2.27 значения пороговых токсодоз приведены для взрослых, для детей они в 4—10 раз меньше.

б. Метаболические яды (окись этилена, бромистый метил, диоксины, метилхлорид, дихлорэтан и др.). Отравление такими АХОВ характеризуется отсутствием первичной реакции на яд и сопровождается длительным скрытым периодом. Даже при смертельных поражениях от первых проявлений заболевания до летального исхода проходят недели, а иногда и месяцы. В патологический процесс постепенно вовлекаются многие органы, но ведущими являются нарушения центральной нервной и кровеносной систем, работы печени, почек.

Химически опасными объектами (ХОО) называются такие предприятия, где хранят, перерабатывают и используют или транспортируют опасные химические вещества и при авариях на которых может произойти гибель или химическое заражение людей, животных и растений, а также химическое заражение окружающей природной среды. На начало нового тысячелетия ХОО в нашей стране было более 3300. Наиболее химически опасными регионами России являются: Башкортостан, Воронежская, Волгоградская, Саратовская, Тульская, Нижегородская, Архангельская, Ленинградская и Московская области, города Челябинск, Екатеринбург, Дзержинск, Иркутск. Только в Нижегородской области имеется 188 таких объектов.

Для выявления степени опасности и масштабов последствий возможных химических аварий, а также выработки научно обоснованных подходов к их предотвращению и уменьшению ущерба от них по принятой в РСЧС методике все ХОО подразделяются на четыре класса опасности:

критический объект;

чрезвычайно опасный объект;

очень опасный объект;

потенциально опасный объект.

**Наиболее опасным является первый класс.**

Наряду с объектами, химически опасными бывают и территории. Принято считать, что если в городе, районе, области имеются химически опасные объекты, то данная административно-территориальная единица также является химически опасной. Критерием, характеризующим степень такой опасности, является процент населения, которое может оказаться в зоне возможного химического заражения. В этом случае все территории также

подразделяются на четыре степени опасности по следующему принципу — в зоне возможного химического заражения проживает:

более 50% населения территории;

от 30 до 50% населения территории;

от 10 до 30% населения территории;<sup>1</sup> стихийных явлений

204

менее 10% населения территории.

Исходя из приведенных показателей, химически опасными можно считать 90% субъектов России.

Объекты с химически опасными веществами могут быть источниками: залповых выбросов АХОВ в атмосферу; сброса АХОВ в водоемы; «химического» пожара с поступлением токсических веществ в окружающую среду; разрушительных взрывов; химического заражения объектов и местности в районе аварии и в следе распространения облака АХОВ; обширных зон задымления в сочетании с токсичными продуктами. Каждый из перечисленных видов опасности по месту и времени может проявляться отдельно, последовательно и в сочетании с другими опасностями, а также может быть неоднократно повторен, в том числе и в различных комбинациях.

В результате химической аварии образуется зона химического заражения. Это территория, в пределах которой распространены или привнесены химически опасные вещества в концентрациях или количествах, создающих опасность для жизни и здоровья людей, животных и растений в течение определенного времени. Размеры этой зоны зависят от типа АХОВ, их выброшенного количества, метеоусловий и топографических особенностей местности. Внешние границы зоны химического заражения обычно соответствуют пороговому значению токсодозы при ингаляционном воздействии на человека. Внутри этой зоны выделяют очаг химического заражения и зоны: смертельных токсодоз, поражающих токсодоз и пороговую (дискомфортную) зону (рис. 2.38).

Очагом химического заражения называют территорию, на которой образовался источник химического заражения или аварийного разлива АХОВ. Его радиус зависит от вида АХОВ и условий хранения. При аварийном разливе АХОВ в поддон или обваловку внешние границы очагов химического

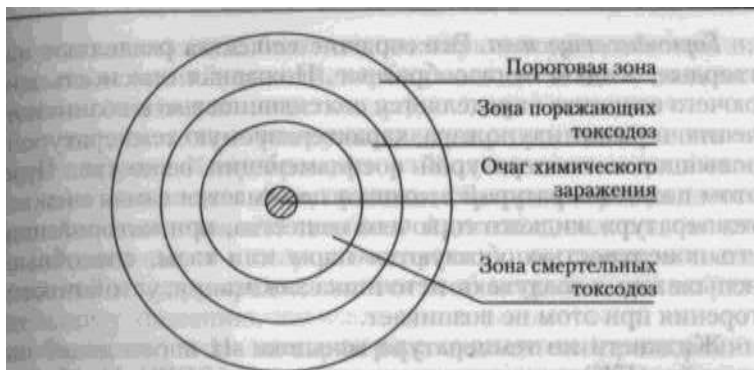


Рис. 2.38. Зоны химического заражения

$$R_{\text{оэз}} = 2,52 \sqrt{\frac{M_0}{\rho_{\text{в}}}}$$

принимается равной 0,05 м по всей площади разлива. Для этих условий радиус очага химического заражения (м) может быть рассчитан по формуле где  $M_0$  — масса разлившегося вещества, т;  $\rho_{\text{в}}$  — плотность вещества, т/м<sup>3</sup>.

В зоне смертельных токсодоз облако АХОВ обладает наибольшими поражающими возможностями. Часто за радиус зоны смертельных токсодоз принимают радиус района аварии, который зависит от вида АХОВ и условий его хранения. При проведении практических расчетов рекомендуется значение радиуса района аварии принимать равным при разрушении емкостей в 50 т: для низкокипящих жидких АХОВ — 0,5 км, для высококипящих АХОВ — 0,2—0,3 км. При возникновении пожаров в ходе химической аварии радиус увеличивается в полтора-два раза.

Удаления внешних границ зоны поражающих токсодоз от аварийных емкостей даны в СНиП 2.01.51 —90 «Инженерно-технические мероприятия ГО».

Пороговые (дискомфортные) зоны в зависимости от метеоусловий могут иметь различные размеры и форму. Расчет дискомфортных зон ведется по ОНД-86.

Пожары и взрывы. Пожар — это неконтролируемое горение вне специального очага. Для реализации процесса горения необходимо наличие горючего (Г), окислителя (О) и источника воспламенения (И). Горение возникает при одновременном совпадении в пространстве компонентов Г, О и И. Отсутствие одного из этих компонентов делает процесс горения невозможным, если Г и О не самовоспламеняются.

заражения соответствуют границам обваловки или диаметру поддона. При свободном разливе АХОВ на подстилающей поверхности толщина слоя (В) жидкости и..

Горючие вещества. Все горючие вещества разделяют на твердые, жидкие и газообразные. Пожарная опасность горючего вещества определяется его склонностью к возникновению и развитию пожара, характеризуемую температурой вспышки и температурой воспламенения вещества. При этом под температурой вспышки понимается самая низкая температура жидкого горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивого горения при этом не возникает.

Жидкости по температуре вспышки их паров делят на горючие (ГЖ) и легковоспламеняющиеся (ЛВЖ). Наибольшую пожарную опасность представляют смеси горючих газов и паров ЛВЖ. Температура вспышки ЛВЖ не выше 66°C в открытом тигле; так, температура вспышки керосина равна 28°C, ацетона — 20°C.

Температурой воспламенения горючего вещества называется та температура, при которой вещество выделяет пары и газы со скоростью, необходимой для поддержания устойчивого горения, после удаления источника зажигания.

Температура самовоспламенения — это температура горючего вещества, при которой горение возможно во всем объеме вещества. Температура самовоспламенения некоторых веществ: картон серый — 478°C, войлок строительный — 498°C, ацетон — 523°C, этиловый спирт — 568°C, нефть — 573°C, бензин, керосин — 573°C, древесина сосновая — 643°C, дизельное топливо — 653°C, торф кусковой и брикетный — 700°C, мазут — 738°C, хлопок-волокно — 883°C.

Исходя из температур самовоспламенения различают:

горючие вещества, имеющие температуру самовоспламенения выше температуры окружающей среды;

горючие вещества, имеющие температуру самовоспламенения ниже температуры окружающей среды. Такие вещества представляют наибольшую пожарную опасность, так как могут загораться без внесения теплоты извне. Их называют самовозгорающимися веществами (материалами, смесью веществ), т.е. веществами, склонными к возгоранию в естественных условиях хранения.

Самовозгорающиеся вещества подразделяют на три группы:

вещества, способные самовозгораться от воздействия воздуха. К ним относят бурые и каменные угли, торф, древесные опилки, обтирочные концы, загрязненные маслами и т.п.;

вещества способные самовозгораться при действии на них воды (калий, магний, карбид кальция и щелочных металлов, негашеная известь и др.);

вещества, самовозгорающиеся в результате смешения друг с другом. Хлор, бром, фтор и йод активно соединяются со многими веществами, при этом горение сопровождается сильным выделением теплоты. Ацетилен, водород, метан и этилен в смеси с хлором возгораются при дневном свете, поэтому к хлору предъявляются особые требования по раздельному хранению.

Окислители. На пожарах роль окислителя при горении чаще всего выполняет кислород воздуха, окружающий зону протекания химических реакций, поэтому интенсивность горения определяется не скоростью протекания этих реакций, а скоростью поступления кислорода из окружающей среды в зону горения.

Источники воспламенения. К ним относят: пламя, лучистую энергию, искры, разряды статического электричества, накалинные поверхности и т.п.

Зоны горения, виды и опасные факторы пожаров. Горение представляет собой физико-химический процесс превращения горючих веществ в продукты сгорания, сопровождаемый интенсивным выделением теплоты и светового излучения. В основе горения лежат быстротекущие химические реакции окисления сгораемых материалов кислородом воздуха с образованием в первую очередь  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

В пространстве, в котором развивается пожар, условно рассматриваются три зоны: горения, теплового воздействия и задымления.

Зоной горения называется часть пространства, в которой происходит подготовка горючих веществ к горению (подогрев, испарение, разложение) и их горение. Различают два основных вида горения: гомогенное и гетерогенное. При гомогенном (пламенном) горении окислитель и горючее находятся в газовой фазе. Гомогенное горение имеет место при сгорании горючего газа или газовых сред, образующихся при испарении горючих жидкостей или при выделении газообразных фракций в результате нагрева

твердых веществ. Полученная любым из этих превращений газообразная среда смешивается с воздухом и горит. При гетерогенном (беспламенном) горении горючее находится в твердом состоянии, а окислитель в газообразном. Процесс горения происходит в твердой фазе и проявляется в покраснении твердого вещества в результате экзотермических реакций окисления.

Зоной теплового воздействия называется часть пространства, примыкающая к зоне горения, в которой тепловое воздействие пламени приводит к заметному изменению состояния окружающих материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в ней людей без средств специальной защиты.

Зоной задымления называется часть пространства, в которой от дыма создается угроза жизни и здоровью людей.

Опасные факторы пожаров. К основным параметрам пожаров относятся пожарная нагрузка, массовая скорость выгорания, скорость распространения пожара, температура пожара, интенсивность выделения теплоты и др.

Пожарная нагрузка характеризует энергетический потенциал сгораемых материалов, приходящихся на единицу площади пола или участка земли. Она измеряется в единицах энергии или в единицах массы сгораемых материалов (в пересчете на древесину) на единице площади — Дж/м<sup>2</sup>, кг/м<sup>2</sup>. Пересчет на древесину осуществляется исходя из того, что при сгорании 1 кг древесины в среднем выделяется 18,8 МДж энергии.

Массовая скорость выгорания — потеря массы горючего материала в единицу времени. Она зависит от отношения площади поверхности горения веществ к их объему, плотности упаковки, условий газообмена и других причин. Например, скорость выгорания мебели — 50, бревен и крупных деревянных элементов — 25, пиломатериалов в штабелях — 400 кг/(м<sup>2</sup>/ч).

Скорость распространения пожара определяется скоростью распространения пламени по поверхности горючего материала. Она зависит от вида материала, его способности к воспламенению, начальной температуры, направления газового потока, степени измельчения материала и др. Скорость распространения пламени варьируется в широких пределах в зависимости от угла наклона поверхности: при угле наклона 90° скорость распространения пламени вниз в два раза меньше средней скорости для

горизонтальной поверхности данного материала, а вверх — в восемь — десять раз больше.

Скорость распространения пламени в смесях газов, используемых в промышленности, равна:

углевоздушные смеси — 0,3—0,5 м/с; тихийных явлений 209

водородовоздушная смесь — 2,8 м/с;

водородокислотная смесь — 13,8 м/с;

ацетиленоокислородная смесь — 15,4 м/с.

Возможность возгорания конструкций и материалов под

действием потоков горячего воздуха и лучистого излучения пожара, а также безопасное удаление людей от очага пожара являются главными показателями, характеризующими обстановку при пожарах.

Пожары подразделяют:

по признаку изменения площади: распространяющиеся и ^распространяющиеся;

по условиям массо- и теплообмена с окружающей средой: в ограждениях (внутренние пожары) и на открытой местности (открытые пожары).

Большинство внутренних пожаров, связанных с горением твердых материалов, начинается с возникновения локального открытого пламенного горения. Постепенно увеличивается температура горючего материала вблизи зоны горения, интенсифицируются физико-химические процессы горения, растет факел пламени, горение переходит в общее в пределах помещения; при достижении температуры примерно 100°С начинается разрушение оконных стекол и в связи с этим существенно изменяется газообмен, горение усиливается и пламя начинает выходить за пределы помещения, что может явиться причиной загорания соседних сооружений.

Распространение пламени на соседние здания и сооружения возможно также за счет излучения и переброса на значительные расстояния горящих конструктивных элементов (головни) или несгоревших частиц (искры).



За пределами помещений, в которых возник пожар, температура продуктов горения может быть не критичной для человека, но содержание продуктов сгорания в воздухе может стать опасным. Это характерно для высоких зданий и зданий коридорной системы, в которых опасность для человека наступает через 0,5—6 мин после начала пожара, поэтому при пожаре необходима немедленная эвакуация.

Показатель опасности при внутреннем пожаре — время, по истечении которого возникают критические ситуации для жизни людей. Время эвакуации, при превышении которого могут сложиться такие ситуации, называется критическим временем эвакуации. Различают критическое время по температуре (это время очень мало, так как опасная для человека температура невелика и составляет 60°C), критическое время по образованию опасных концентраций вредных веществ (скорость распространения продуктов сгорания по коридорам равна 30 м/мин), критическое время по потере видимости (задымлению).

Необходимость срочной эвакуации определяется также тем обстоятельством, что пожары могут сопровождаться взрывами, деформациями и обрушением конструкций, вскипанием и выбросом различных жидкостей, в том числе легковоспламеняющихся и сильно ядовитых.

К открытым относятся пожары газовых и нефтяных фонтанов, складов древесины, пожары на открытых технологических установках, пожары на складах каменного угля и др. Общей особенностью всех открытых пожаров является отсутствие накопления теплоты в газовом пространстве. Теплообмен происходит с неограниченным окружающим пространством, газообмен не ограничивается конструктивными элементами зданий и сооружений, он более интенсивен. Процессы, протекающие на открытых пожарах, в значительной степени зависят от интенсивности и направления ветра.

Зона горения на открытом пожаре в основном определяется распределением горючих веществ в пространстве и формирующими зону горения газовыми потоками. Зона теплового воздействия — в основном определяется лучистым тепловым потоком, так как конвективные тепловые потоки уходят вверх и мало влияют на зону теплового воздействия на поверхности земли. За исключением лесных и торфяных пожаров зона

задымления на открытых пожарах несущественно препятствует тушению пожаров. В среднем максимальная температура пламени открытого пожара для горючих газов составляет 1200—1350, для жидкостей — 1100—1300 и для твердых горючих материалов органического происхождения — 1100—1250°С.

По масштабам и интенсивности открытые пожары можно подразделить на:

отдельный пожар, возникающий в отдельном здании (сооружении) или в небольшой группе зданий;

сплошной пожар, характеризующийся одновременным интенсивным горением преобладающего числа зданий и сооружений на определенном участке застройки (более 50%);

огневой шторм — особая форма распространяющегося сплошного пожара, образующаяся в условиях восходящего потока нагретых продуктов сгорания и быстрого поступления в сторону центра огневого шторма значительного количества свежего воздуха (ветер со скоростью 15 м/с и более);

массовый пожар, образующийся при наличии в местности совокупности отдельных и сплошных пожаров.

Распространение пожаров и превращение их в сплошные определяется плотностью застройки территории объекта. О влиянии плотности размещения зданий и сооружений на вероятность распространения пожара можно судить по ориентировочным данным, приведенным ниже:

Расстояние между	0	5	1	1	2	3	4	5	7	90
Вероятность	10	8	6	4	2	2	9	3	2	0

При открытых пожарах главным источником распространения пожара является лучистый теплообмен. Плотность лучистого теплового потока  $Q_{\text{л}}$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) зависит от большого числа факторов, характеризующих как сам процесс формирования теплового излучения, так и его воздействие на окружающие тела. Учесть каждый из этих факторов в аналитическом выражении, описывающем процесс теплообмена, не представляется возможным, поэтому при проведении расчетов учитываются только основные из них. Расчеты проводят по формуле Стефана — Больцмана:

$$Q_1 = C_{пр} \epsilon F_1 \psi \{ (T_2/100)^4 - (T_1/100)^4 \},$$

где  $C_{пр}$  — приведенный коэффициент излучения (для практических расчетов  $C_{пр} \approx 4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ );  $\epsilon$  — приведенная

степень черноты окружающих **предметов**; — площадь поверхности, излучающей лучистый поток,  $\text{м}^2$ ;  $\psi$  — коэффициент облучаемости, зависящий от расположения и размеров поверхностей и показывающий долю лучистого потока, излучаемого поверхностью пламени;  $T_1$  — средняя температура самовоспламенения нагреваемых поверхностей, К;  $T_2$  — средняя температура пламени, К.

Величины, необходимые для расчета по формуле, приведены ниже:

Горючий материал	Средняя температура
Торф, мазут	1273
Древесина, нефть, керосин	1373
Каменный уголь, каучук, бензин	1473
Антрацит, сера	1573
1 оружие газы	1773

Приведенная степень черноты определяется по степени черноты ( $\epsilon_{пр}$ ) факела пламени ( $\epsilon_n$ ) и степени черноты облучаемого материала ( $\epsilon_m$ ) по формуле

$$\epsilon_{пр} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{\epsilon_n} + \left( \frac{S_1}{S_2} \right) \left( \frac{1}{\epsilon_m} - 1 \right) \right]},$$

где  $S_2$  — площадь факела и облучаемой поверхности.

Каменный уголь, древесина, торф	0,7
Мазут, нефть	0,85
Бензин, керосин, дизельное топливо	0,98

**Степень черноты факела пламени при горении различных материалов:**

**Степень черноты различных материалов:**

Сталь листовая	0,6
Медь окисленная	0,95
Резина твердая	0,86
Резина мягкая	0,9

Дерево строганое, картон, торф	0,93
Толь кровельный	0,9
Кожа человека	0,95

Взаимное размещение факела пламени и облучаемого тела учитывается с помощью коэффициента  $\gamma$ . Значение этого коэффициента зависит от формы и размеров факела пламени, а также от расположения облучаемой элементарной площадки по отношению к факелу пламени. Пламя имеет довольно сложную, изменяющуюся во времени форму, но в практических расчетах факел пламени условно заменяется прямоугольной площадкой, размещение которой по отношению к облучаемому телу рассматривается так, как это показано на схеме, приведенной на рис. 2.39.

Значение  $\gamma$ , соответствующее такой схеме, может быть определено по формуле:  $\psi_{12} = 4i \gamma_{12}$  (в случае, когда элементарная площадка расположена напротив геометрического центра излучающей поверхности);  $\gamma = 2v \gamma_{12}$  (в случае, когда элементарная площадка расположена на уровне нижней кромки излучающей поверхности):

$$\psi_{12} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2+r^2}} + \frac{b}{\sqrt{a^2+r^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}} \right]$$

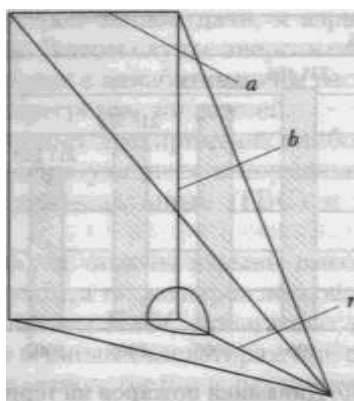


Рис. 2.39. Расчетная схема для определения значения  $\gamma_{12}$  (облучаемая элементарная площадка расположена на расстоянии  $r$  по нормали от одного из углов площадки, заменяющей факел пламени)

Значение плотности теплового потока существенно зависит от продолжительности воздействия. Минимально необходимая для возгорания материала плотность теплового излучения, воздействующая на тело в течение определенного времени, называется критической ((2<sub>лкр.</sub>)<sup>и</sup>)

определяется в лабораторных экспериментах. В табл. 2.28 приведены значения ( $2_{л\text{кр}}$  для различных материалов при продолжительности воздействия 3, 5 и 15 мин.

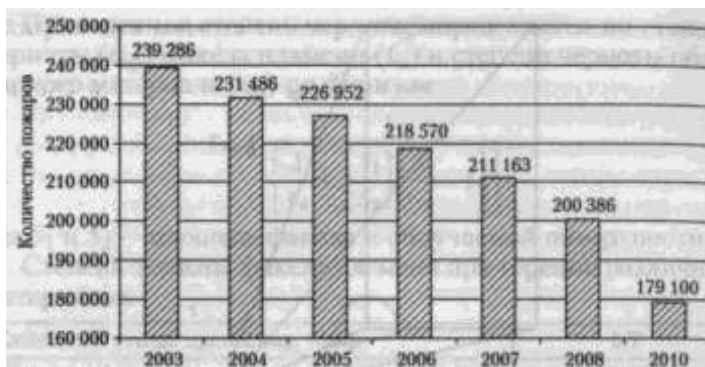
Динамика пожаров на территории Российской Федерации в 2003—2010 гг. показана на рис. 2.40.

Взрыв — быстро протекающий процесс физического или химического превращения веществ, сопровождающийся высвобождением большого количества энергии в ограни-

**Таблица 2.28**

**Значения критической плотности теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>**

Материал	Продолжительность		
	3	5	15
Древесина с шероховатой	20 600	17 500	12 900
Древесина, окрашенная	26 700	23 300	17 500
картон серый	18 000	15 200	10 800
Стеклопластик	19 400	18 600	15 300
Резина	22 600	19 200	14 800



**Рис. 2.40. Динамика пожаров на территории Российской Федерации**

ченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести материальный ущерб, ущерб окружающей среде и стать источником ЧС.

Источником энергии при взрыве могут быть как химические, так и физические процессы. В большинстве взрывов источником выделения

энергии являются химические превращения веществ, связанные с окислением. Существует много веществ, которые в нормальных условиях достаточно устойчивы и могут находиться в твердом, жидком, газообразном или аэрозольном состоянии. Однако в результате иницирующего воздействия (теплотой, трением, ударом или каким-либо другим способом) в них начинаются экзотермические процессы, протекающие с большой скоростью и приводящие к взрывчатому превращению.

Наиболее распространенными конденсированными взрывчатыми веществами (ВВ) являются тротил, гексоген, дымный порох, пироксилин, аммотол, октоген и некоторые другие. Взрывы конденсированных ВВ протекают в режиме детонации, при котором взрывная волна в заряде распространяется с постоянной скоростью. Скорости детонации находятся в пределах от 1,5 до 8 км/с, а давление в эпицентре взрыва достигает 20—38 ГПа.

Примерами взрывов, энергосодержание при которых обусловлено физическими процессами, могут служить аварийное выливание расплавленного металла в воду, при котором испарение протекает взрывным образом вследствие чрезвычайно быстрой теплоотдачи, и взрывы сжатых или сжиженных газов. В этом случае энергия определяется процессами, связанными с адиабатическим расширением парогазовых сред и перегревом жидкостей.

На промышленных предприятиях наиболее взрывоопасными являются образующиеся в нормальных или аварийных ситуациях газовоздушные (ГВС) и пылевоздушные (ПлВС) смеси.

Из ГВС наиболее опасны взрывы смесей углеводородных газов с воздухом, а также паров легковоспламеняющихся жидкостей. Взрывы ПлВС происходят на мукомольном производстве, на зерновых элеваторах, при обращении с красителями, при производстве пищевых продуктов, в текстильной промышленности и т.п.

На практике чаще других встречаются свободные воздушные, наземные (приземные) взрывы, взрывы внутри помещений (внутренние), а также взрывы больших облаков ГВС. Суммарное выделение энергии при взрыве оценивается энергетическим потенциалом взрыва.

К свободным воздушным относят взрывы, происходящие на значительной высоте от поверхности земли, когда не происходит усиления ударной волны между центром взрыва и объектом за счет отражения. Взрывная волна ослабляется по мере ее распространения, и по характеру воздействия на окружающую среду образуются три зоны: ближайшая, промежуточная и слабого взрыва. Ближайшая к источнику зона характеризуется огромными давлениями и температурами. В промежуточной зоне, в которой избыточное давление достаточно велико, возможны тяжелые разрушения и смертельные поражения людей. В зоне слабого взрыва вероятны средние и слабые разрушения и поражения людей средней степени тяжести.

Основным параметром, определяющим поражающее воздействие ударной волны на людей и объекты, является избыточное давление во фронте ударной волны  $\Delta P_{\phi}$ . Оно зависит от массы  $M$  заряда ВВ в тротиловом эквиваленте (кг) и от расстояния  $x$  от центра взрыва до объекта (м). Для практических расчетов зависимость избыточного давления взрыва от расстояния, массы заряда и вида взрыва определяется формулой

$$\Delta P_{\phi} = 0,84 \frac{\sqrt[3]{M}}{x} + 0,27 \frac{\sqrt[3]{M^2}}{x^2} + 0,7 \frac{M}{x^3}, \text{ МПа.}$$

*Наземные и приземные взрывы.* Если взрыв происходит на поверхности земли, то воздушная ударная волна от него усиливается за счет отражения. Параметры ударной волны рассчитывают по формуле свободного воздушного взрыва, однако величину избыточного давления взрыва удваивают.

Более сложные процессы происходят при взрывах в приземных слоях атмосферы. При этих взрывах образуются сферические воздушные ударные волны, распространяющиеся в пространстве в виде области сжатия — разряжения (рис. 2.41).

Фронт воздушной ударной волны характеризуется скачком давления воздуха, при достижении сферической ударной волны земной поверхности она отражается от нее, что приводит к формированию отраженной волны. На некотором расстоянии от эпицентра взрыва фронты прямой и отраженной ударных волн сливаются, образуя головную волну, имеющую фронт, нормальный к поверхности Земли и перемещающийся вдоль ее

поверхности. Область пространства, где отсутствует наложение и слияние фронтов, называется *зоной регулярного отражения*, а область пространства, в которой распространяется головная волна, — *зоной нерегулярного отражения*.

С момента прихода фронта воздушной ударной волны в точку на земной поверхности давление резко повышается до максимального значения ДРФ, а затем убывает до атмо-

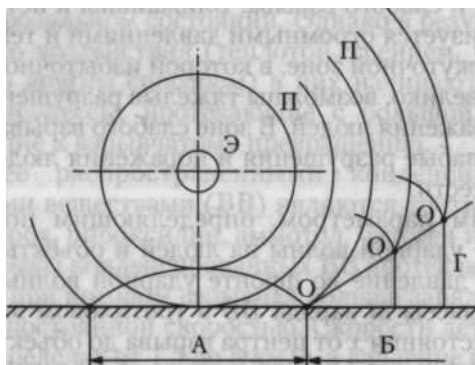


Рис. 2.41. Волнообразование при воздушном взрыве в приземной зоне:

**Э — эпицентр взрыва; П — фронт падающей волны; О — фронт отраженной волны; А — зона регулярного отражения; Б — зона нерегулярного отражения; Г — фронт головной ударной волны**

сферного  $P_0$  и ниже. Период повышенного избыточного давления называется фазой сжатия, а период пониженного давления - фазой разрежения.

Действие воздушной ударной волны на здания и сооружения определяется не только избыточным давлением, но и скоростным напором воздушных масс.

Внутренний взрыв характеризуется тем, что нагрузка воздействует на объект изнутри. Возникающие нагрузки зависят от многих факторов: типа взрывчатого вещества, его массы, полноты заполнения внутреннего объема помещения взрывчатым веществом, его местоположения во внутреннем объеме и т. д. Полное решение задачи определения параметров взрыва является сложной задачей. Ориентировочно оценку возможных последствий взрывов внутри помещения можно производить по величине избыточного давления, возникающего в объеме производственного помещения.



Для горючих газов, паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей избыточное давление взрыва рассчитывается по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \left[ \frac{100 M_T Z}{\rho_r V_{\text{св}} C_{\text{ст}} K_H} \right]$$

где  $P_{\max}$  — максимальное давление взрыва стехиометрической газозвушной или парозвушной смеси в замкнутом объеме; определяется экспериментально или по справочным данным, при отсутствии данных его допускается принимать равным 900 кПа;  $P_0$  — начальное давление (допускается принимать равным 101 кПа);  $M_T$  — масса горючего газа или паров легко воспламеняющейся или горючей жидкости, поступивших в результате аварии в помещение, кг;  $Z$  — доля участия взвешенного дисперсного продукта во взрыве;  $\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{св}}$  — свободный объем помещения в м<sup>3</sup>, он определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием (если свободный объем помещения определить невозможно, то его принимают условно равным 80% геометрического объема помещения);  $C_{\text{ст}}$  — стехиометрический коэффициент;  $K_H$  — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, его допускается принимать равным 3.

Избыточное давление взрыва для химических веществ, кроме упомянутых выше, а также для смесей рассчитывается по формуле

$$\Delta P = \frac{M H_m P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} T_0 K_H C_p}$$

где  $H_m$  — теплота сгорания, Дж/кг<sup>-1</sup>;  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха

до взрыва при начальной температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); допускается принимать равной  $1,01 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К);  $T_0$  — начальная температура

воздуха, К.

Избыточное давление взрыва для горючих пылей определяют по формуле, где при отсутствии данных коэффициент  $Z$  принимается равным 0,5. Расчет избыточного давления взрыва для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, проводят по этой же формуле, принимая  $Z = 1$ .

Основные параметры взрыва некоторых аэрозолей приведены в табл. 2.29 (НКПВ — нижний концентрационный предел воспламенения аэрозолей или предел распространения пламени).

Расчетное избыточное давление взрыва для гибридных взрывоопасных смесей, содержащих газы (пары) и пыли, находят по формуле

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где  $\Delta P_1$  — давление взрыва, вычисленное для газа (пара);  $\Delta P_2$  — давление взрыва, вычисленное для пыли.

*Взрыв (горение) газового облака.* Причинами взрывов могут быть большие газовые облака, образующиеся при утечках или внезапном разрушении герметичных емкостей, трубопроводов и т.п. Инициаторы горения или взрыва в этих

Таблица 2.29

Основные параметры взрыва аэрозолей

Материал	Яг,	Диспер	НКПВ,	ДР, кПа
Полиэтилен	47 100	250	45,0	630
Полистирол	39 800	20-70	27,5	590
Метилцеллюлоза	И 800	850	30,0	660
Нафталин	39 900	100	2,5	651
Фталевый ангидрид	21 000	74	12,6	750
Сера	8200	8,5	2,3	406
Алюминий	30130	-	58,0	830

случаях носят чаще всего случайный характер, причем воспламенение не всегда сопровождается взрывом. Процесс *взрыва* или горения таких газовых облаков имеет ряд специфических особенностей, что приводит к необходимости *рассмотреть* эти процессы отдельно.

При плохом перемешивании газообразных веществ с атмосферным воздухом взрыва вообще не наблюдается. В этом случае при воспламенении газо- или паровоздушной смеси от места инициирования с дозвуковой скоростью будет распространяться «волна горения». Так как распространение пламени происходит со сравнительно низкой скоростью, в волне горения давление не повышается. В таком процессе имеет место только расширение продуктов горения за счет их нагрева в зоне пламени, и

давление успевает выровняться по всему объему. Медленный режим горения облака с наружной поверхности с большим выделением лучистой энергии может привести к образованию очагов пожаров.

При оценке разрушительного действия взрыва газового облака в открытом пространстве необходимо определить избыточное давление (скоростной напор) во фронте пламени. Если пламя распространяется от точечного источника зажигания в неограниченном пространстве, то оно имеет форму, близкую к сфере. Для пламени предельных углеводородов скоростной напор в открытом пространстве может достигать 26 кПа.

По избыточному давлению взрыва можно ориентировочно оценить степень воздействия ударной волны на людей (табл. 2.30). При количественной оценке степени пораже-

Таблица 2.30

**Давления ударной волной, вызывающие поражения человека**

AP, кПа	Результат воздействия
20	Разрывы барабанных перепонок.
50	Кроме указанного выше, общее сотрясение организма, болезненный удар по голове, кровоизлияние в легкие, межмышечное
70	Давление, трудно переносимое
100	и Переломы ребер, летальный исход (поражения 4-й степени)

ния применены средние значения давлений, вызывающие ту или иную степень поражения у 50% пострадавших.

По международным нормам опасным для человека является избыточное AP > 6,9 кПа.

Пожары и взрывы достаточно часто взаимосвязаны в пространстве и времени. Так, при пожаре возможны взрывы нагреваемых емкостей со сжатыми и сжиженными газами, емкостей с ЛВЖ, а при взрыве, например, бытового газа, возможно возгорание окружающих горючих веществ. Отметим, что взрывы природного газа (магистрального и подаваемого из баллонов) в жилых помещениях — довольно частое событие, которое возникает из-за попадания газа в объем помещения в количестве выше НКПВ

(для бытового газа НКПВ - 2% объема) при появлении источника воспламенения (пламени, искры и т.п.).

## 2.5. Чрезвычайные опасности стихийных явлений

В условиях современной техносферы возможно негативное воздействие стихийных явлений. К ним относятся землетрясения, наводнения, штормовые ветры и снежные метели, заносы, оползни, провальные и просадочные процессы, грозы и т.п.

*Землетрясения.* Наибольшее воздействие землетрясения оказывают на здания и сооружения, которые подразделяются на три типа:

А — здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича сырца, глинобитные дома;

Б — кирпичные дома, здания крупноблочного типа, здания из естественного тесаного камня;

В — здания панельного типа, каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

При этом регламентируют пять степеней повреждения зданий и сооружений:

1 — легкие повреждения: тонкие повреждения в штукатурке и откалывание небольших ее кусков;

2 — умеренные повреждения: небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах и падение частей дымовых труб;

3 — тяжелые повреждения: глубокие и сквозные трещины в стенах, падение дымовых труб;

4 — разрушения: обрушения внутренних стен и стен заполнения каркаса, проломы в стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий;

5 — обвалы: полное разрушение зданий.

В табл. 2.31 приведена краткая характеристика воздействия землетрясений на объекты техносферы. Интенсивность землетрясений оценивается по 12-балльной шкале.

Таблица 2.31

## Характеристика землетрясений

Балл	Вид	Характеристика воздействия
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабые толчки	Отмечаются сейсмическими приборами. Ощущаются отдельными
3	Слабое	Легкое раскачивание висячих ламп,
4	Умеренное	Распознается по легкому
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов — всеми. Общее сотрясение стен здания,
6	Сильное	Ощущается всеми, люди в испуге выбегают на улицу. Висящие на стенах предметы падают. Появляются повреждения 1-й
7	Очень сильное	Сильно качаются подвешенные предметы, сдвигается мебель. Во многих зданиях типа В — повреждения 1-й степени и в отдель-
8	Разрушительное	Сильные повреждения зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 2-й степени и в отдельных — 4-й
		дельных — 4-й степени. Во многих зданиях типа А повреждения 4-й степени и в отдельных 5-й степени.
9	Опустошительное	Всеобщие повреждения зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 3-й степени в отдельных — 4-й типа А повреждения 5-й степени.
10	Уничтожающее	Всеобщее разрушение зданий. Появляются трещины в почве, иногда до метра шириной. Дороги
11	Катастрофическое	Появляются широкие трещины в поверхностных слоях земли, многочисленные оползни и обвалы.

12	Сильно катастрофическое	Изменения в почве достигают огромных размеров. Образуются многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникают водопады,
----	-------------------------	--

*Наводнения.* Среди источников ЧС природного происхождения наводнения по повторяемости, по масштабам воздействия и по материальному ущербу стоят в России на первом месте. Причины возникновения наводнений многообразны. К ним относят:

половодья, обычно весенние, из-за таяния снега и половодья при интенсивных дождях в бассейнах равнинных рек;

наводнения из за заторов (весной) и зажоров (осенью), возникающие из-за скопления на реках шуги и льда;

наводнения, вызванные подъемом закрытых морей (Каспийское море);

нагонные наводнения (Нева);

наводнения, вызванные подводными землетрясениями;

наводнения из-за прорыва плотины.

При наводнениях происходит достаточно быстрый подъем воды и затопление прилегающей местности. Часто при этом возникают подтопления, когда вода проникает в подвалы зданий через канализационную сеть (при сообщении *канализации* с рекой), по разного рода канавам и траншеям, а также из-за значительного подпора грунтовых вод.

При наводнениях нарушаются пути сообщения, выходят из строя телефонная связь, электроснабжение и т.п. В дальнейшем происходит размыв оснований зданий и сооружений и непрерывное углубление промоин. От размывающего действия текущей воды может происходить разрушение мостовых на улицах городов, а также кирпичных зданий в течение 5—10 суток. Более устойчивы в этом отношении блочные бетонные здания с фундаментом из бетонных и железобетонных блоков и плит. Такие здания даже с заполненными водой подвалами длительно сохраняют общую устойчивость. Вторичными последствиями наводнений являются загрязнения

воды и местности веществами из разрушенных и затопленных хранилищ, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, массовые заболевания людей и животных, аварии на транспортных и инженерных коммуникациях, оползни, обвалы и даже изменения ландшафта.

*Штормовые ветры, снежные метели и заносы.* Специалистами циклоном называется замкнутая область атмосферного возмущения с пониженным давлением в центре и вихревым движением воздуха. Разрушительное действие циклонов определяется дождевыми осадками (снегом) и скоростным напором ветра. Согласно строительным нормам, максимальное нормативное значение ветрового давления для территории России составляет 0,85 кПа, что при нормальной плотности воздуха 1,22 кг/м<sup>3</sup> соответствует скорости ветра 37,3 м/с. Однако, как показывает практика, далеко не все сооружения выдерживают ветер даже меньшей силы. Велика также разрушительная сила ударов от предметов, уносимых сильными ветрами.

«Зимой при прохождении циклонов возникают метели.

соответствии с силой ветра метели делят на пять категории: слабые, обычные, сильные, очень сильные и сверхсильные. В зависимости от того как снег переносится ветром, различают несколько видов метели: верховая, низовая и общая метели. Большую опасность для людей представляют сильные метели в тот момент, когда они находятся вне населенных пунктов на открытой местности.

Для визуальной оценки скорости ветра по его действию на наземные предметы или по волнению на море в 1806 г. английский адмирал Ф. Бофорт разработал условную шкалу. В 1963 г. Всемирная метеорологическая организация уточнила эту шкалу (табл. 2.32).

**Таблица 2.32** Шкала для визуальной оценки силы ветра

Балл	Скорость	характер	Действие ветра
0	0-0,2	Штиль	Полное отсутствие ветра. Дым из труб поднимается вертикально.
1	0,3-1,5	Тихий	Ветер еще не приводит в движение флюгер, но уже
2	1,6-3,3	Легкий	Ветер ощущается лицом. Шелестят листья. Флюгер

3	3,4-5,4	Слабый	Непрестанно колышутся листья и тонкие ветви деревьев. Развеваются легкие флаги. Гребни волн уже хорошо выра-
4	5,5-7,9	Умеренный	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев. Волны
5	8,0-10,0	Свежий	Качаются тонкие стволы деревьев. Волны на море еще не
6	10,8-13,8	Сильный	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телефонные провода. На море образуются
7	13,9—17,1	Крепкий	Качаются стволы деревьев. Идти против ветра трудно. На море волны громоздятся гребни
Баллы	Скорость	Словесная	Действие ветра
8	17,2-20,7	Очень крепкий	Ветер ломает сучья деревьев, идти против
9	20,8-24,4	Шторм	Ветер срывает черепицу и дымовые колпаки. Волны на море высокие, а пена широкими плотными
10	24,5—28,4	Сильный шторм	Ветер разрушает строения, с корнем вырывает деревья. Волны очень высокие, с загибающимися
11	28,5-32,6	Жесткий шторм	Волны на море настолько высоки, что судна среднего размера временами
12	32,7 и более	Ураган	Море все покрыто полосами пены. Воздух

*Примечание. Резкое кратковременное усиление ветра до 20 м/с и более называется шквалом.*

Ветровые движения атмосферного воздуха происходят почти параллельно земной поверхности, поэтому под скоростью ветра подразумевается горизонтальная составляющая ветрового движения. Воздействие ветра небезопасно, его приходится учитывать в повседневной жизни. Так, на Камчатке при скорости ветра 30 м/с и более по распоряжению местных органов прекращают работу школьные учреждения, детские сады и ясли, а при ветре более 35 м/с не выходят на работу женщины. При проектировании сооружений принимаются меры, чтобы они могли противостоять самым сильным ветрам. Для территории России максимальное значение скорости



ветра при проектировании зданий и сооружений принято 37,3 м/с, или 134 км/час, что соответствует силе ветра в 12 баллов.

*Торфяные и лесные пожары.* Под воздействием температуры атмосферного воздуха и ряда других причин торф постепенно разлагается и подвергается возгоранию. Скорость выгорания торфа при малом ветре — около 0,18 кг/м<sup>2</sup>. При скорости ветра 3 м/с и более происходит разбрасывание горящих частиц торфа и образование зон горения в слое торфа. Большое влияние на развитие пожара на торфяниках оказывают метеорологические факторы (температура воздуха, солнечная радиация, влажность), время суток, время года. Обычно пожар возникает днем в летний период.

Лесные пожары возникают при сухой и жаркой погоде. Причины их возникновения делятся на естественные (удары молнии), антропогенные (нарушение людьми правил обращения с огнем) и техногенные (использование неисправной техники). При этом пожары делятся на низовые, верховые и подземные.

Чаще всего наблюдаются низовые пожары, когда сгорает почвенный покров, выступающие корни деревьев и нижняя часть стволов. Верховые пожары характеризуются распространением огня по кронам деревьев и по надпочвенному покрову. Возникновению и распространению верхового пожара способствует сильный ветер. В лесах с толстым слоем опавших листьев, сучьев, травы в засушливые годы возникают подземные пожары.

По площади, охваченной огнем, лесные пожары делятся на шесть классов:

Класс пожара	Площадь пожара, га
Загорание	0,1-0,2
Малый	0,2-2,0
Небольшой	2,1-20
Средний	21-200
Крупный	201-2000
Катастрофический	Более 2000

В летний период количество лесных пожаров максимально. Летом 2010 г., когда пожары охватили значительную часть территории страны, в зонах задымления средней полосы России умерло на 56 тыс. человек больше, чем в предыдущие годы.

Оползень — это смещение на более низкий уровень масс горных пород по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки. Главными причинами возникновения оползней являются подмыв склона, его переувлажнение, сейсмические толчки и хозяйственная деятельность человека.

В результате одного или нескольких из указанных факторов нарушается равновесие склона, и он приходит в скользящее движение, которое продолжается до достижения склоном нового равновесного состояния. При этом перемещаются значительные массы пород, что может привести к катастрофическим последствиям и приобретать характер стихийного бедствия. Оползни могут разрушать отдельные объекты и подвергать опасности целые населенные пункты, выводить из оборота сельскохозяйственные угодья, создавать опасность при эксплуатации карьеров, повреждать транспортные коммуникации, трубопроводы, энергетические сети и угрожать плотинам. Оползни образуются как на естественных склонах, так и в искусственных земляных сооружениях с крутыми откосами.

На оползневых склонах различают шесть основных элементов оползней (рис. 2.42).

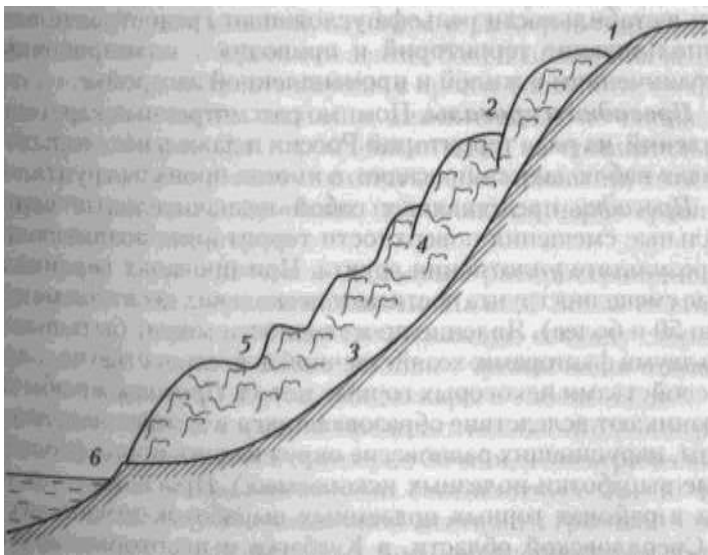


Рис. 2.42. Принципиальная схема оползневого склона:

1- Доползневый уступ; 2 — трещины скольжения (оползневые ступеньки); 3 — плоскость скольжения; 4 — тело оползня; 5 — трещины выпучивания; 6 — нижняя граница оползня

Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно и качественно осуществлять комплекс мероприятий, направленных на контроль, прогнозирование и предотвращение возникновения оползневых процессов.

*Карст* заключается в процессе растворения, выщелачивания или механическом размывании пород грунта подземными водами, в результате чего в толще земли образуются пустоты, пещеры, вертикальные воронки и колодцы, а на поверхности земли создаются просадки и провалы. Карст образуется только при наличии в толще земли легко размываемых пород — известняков, доломитов, мела, гипса, а также некоторых рыхлых пород, как, например, лесса.

Образующиеся вследствие карстовых явлений на поверхности земли просадки и провалы изменяют естественный рельеф, создавая неровности с колодцами и воронками. Просадки и провалы вызывают разрушение зданий, коммуникаций и инженерных сооружений. Наличие карстовых явлений, возможность и вероятность возникновения просадок и провалов на поверхности земли, отсутствие уверенности в стабильности рельефа усложняют градостроительное использование территорий и приводят к планировочным ограничениям в жилой и промышленной застройке.

*Просадки и провалы.* Помимо рассмотренных карстовых явлений, на ряде территорий России и даже в некоторых городах наблюдаются просадки, а иногда провалы грунта.

*Просадки* представляют собой незначительные вертикальные смещения поверхности территории, возникающие в результате уплотнения грунта. При провалах вертикальные смещения грунта достигают нескольких десятков метров (до 50 и более). Явление просадочности может быть вызвано двумя факторами: хозяйственной деятельностью человека и свойствами некоторых горных пород. *Провалы* же обычно возникают вследствие образовавшихся в земных недрах пустот, нарушивших равновесие окружающих пород (подземные выработки полезных ископаемых). Просадки и провалы в районах горных подземных выработок имеют место в Свердловской области, в Кузбассе и некоторых других районах России.

Явление просадочности свойственно некоторым горным породам, в особенности лессу и лессовидным грунтам. В этом случае просадочные деформации рассматриваются как пе-

од грунтов из недоуплотненного состояния в состояние нормальной для данного природного явления плотности, происходящей под влиянием инфильтрационной воды, замачивания грунта и его уплотнения. Лесс и лессовидные грунты сравнительно широко распространены на территории России. Мощность слоя лесса иногда достигает 10—20 м и более. Просадочность свойственна и некоторым другим породам (суглинки, глины). Оседание поверхности и просадки образуются также при откачке воды из песчаных водоносных слоев.

Многие города и рабочие поселки расположены на территориях с подземными выработками, осуществляемыми при добыче полезных ископаемых. В своем развитии выработки часто оказываются непосредственно под территорией города. В местах горных выработок равновесие в породах над выработками нарушается, происходит сдвиг и прогиб пластов, их обрушение и, как следствие, поверхность земли над выработками просаживается (оседает), а иногда даже проваливается. Установлено, что независимо от характера происхождения образование просадок и провалов зависит от геологических условий, глубины и размеров выработок. Так, близость к поверхности земли, большая ширина выработки и малая плотность породы в кровле способствуют быстрому образованию провалов, значительных по площади и глубине. Выработки, пройденные даже на сравнительно большой глубине, не могут считаться безопасными, хотя на поверхности земли просадки проявляются через сравнительно длительный срок.

*Грозы.* Они являются довольно распространенным и опасным атмосферным явлением. На всей Земле ежегодно проходит порядка 16 млн гроз и каждую секунду сверкает около 100 молний. Разряд молнии чрезвычайно опасен. Он может вызвать разрушения, пожары и гибель людей.

Установлено, что средняя продолжительность одного грозового цикла составляет примерно 30 мин, а электрический заряд каждой вспышки молнии соответствует 20—30 Кл (иногда до 80 Кл). На равнинной местности грозовой процесс включает образование молний, направленных от облаков к земле. Заряд движется вниз ступеньками длиной по — 100 м, пока не

достигнет земли. Когда до земной поверхности остается примерно 100 м, молния «нацеливается» на какой-либо возвышающийся предмет.

Своеобразным электрическим явлением является шаровая молния. Она имеет форму светящегося шара диаметром 20—30 см, движущегося по неправильной траектории и исчезающего беззвучно или со взрывом. Шаровая молния существует несколько секунд, но может вызвать разрушения и человеческие жертвы.

В Подмоскowie, например, ежегодно из-за грозных разрядов в летний период происходит около 50 пожаров. Повторяемость гроз в мае на территории России: Санкт-Петербург — 2; Самара — 3; Москва — 3; Екатеринбург — 3; Ростов-на-Дону — 4; Новосибирск — 4; Сочи — 2; Красноярск — 2; Краснодар — 5; Иркутск — 1; Волгоград — 4; Якутск, Мурманск — одна гроза в несколько лет.

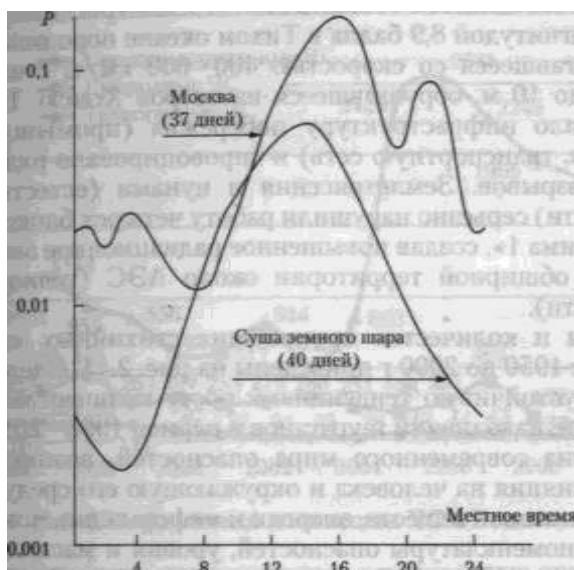
Повторяемость гроз обычно возрастает на 10—15% в годы высокой солнечной активности.

Оценка опасности воздействия молнии основана на статистике частоты гроз с опасными молниями в данном районе и носит вероятностный характер. Такая оценка в середине 1980-х гг. была проделана для Москвы по результатам наблюдений 11 метеорологических станций (Внуково, Домодедово, Шереметьево, Быково, Центральная вычислительная станция и др.). Для расчетов было введено понятие «грозного сезона», в который вошли четыре месяца с мая по август — 123 дня. Число грозных дней за сезон в Москве составляет в среднем 37 дней. За площадь Москвы был принят круг радиусом 20 км (рис. 2.43).

Из графика на рис. 2.43 видно, что грозу следует ожидать во второй половине дня, скорее всего с 12 до 18 часов местного времени. Немного реже она бывает в 21 час и в 3 часа ночи. С 5 до 8 часов утра гроза маловероятна, но в первой половине дня ее вероятность возрастает в 10 с лишним раз. Вторая кривая (более плавная) — результаты, полученные в институте дальней связи США для всей земной суши и грозного сезона в 40 дней. Анализ и сравнение приведенных графиков дают основание полагать, что наиболее вероятны грозы в период с 10 до 18 часов местного времени.

Существует два вида воздействия молнии на объекты: прямой удар и вторичные проявления молнии. Прямой удар сопровождается выделением

большого количества теплоты и вызывает разрушение объектов и воспламенение паров ЛВЖ, различных сгораемых материалов, а также сгораемых конструкций зданий и сооружений.



стихийных явлений

231

**Рис. 2.43. Сравнительная вероятность гроз для Москвы**

Под вторичным проявлением молнии подразумеваются явления, которые сопровождаются проявлением разности потенциалов на металлических конструкциях, трубах и проводах внутри зданий, не подвергшихся прямому удару молний. Высокие потенциалы, наведенные молнией, создают опасность искрения между конструкциями и оборудованием. При наличии взрывоопасной концентрации паров, газов или пыли сгораемых веществ это приводит к воспламенению или взрыву.

Как следует из рассмотренного выше, многие стихийные процессы и явления, возникающие в природе, часто сопровождаются негативным взаимодействием с объектами техносферы (разрушение зданий, транспортных магистралей, взрывы и возгорания сооружений, прорыв плотин и т.п.).

этих случаях воздействие естественных опасностей на людей и окружающую среду, как правило, усиливается и поэтому их суммарное влияние целесообразно называть естественно-техногенным, а возникшие при этом опаснос-

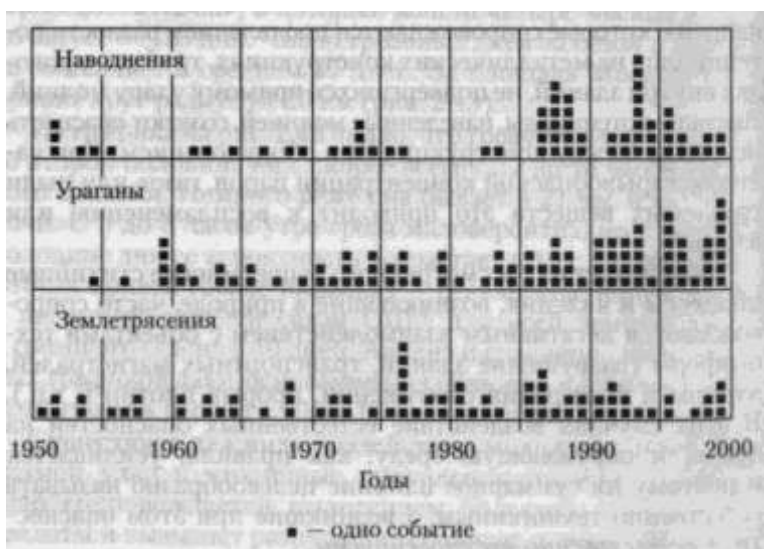
ТИ у ? *СтеПвенНО-техНОгенНЫМи*

но <sup>дительнош</sup> подтверждением значимости естествен- техногенных опасностей являются события в Японии

в 2011 г. Начавшееся 11 марта 2011 г. землетрясение земной коры магнитудой 8,9 балла в Тихом океане породило цунами, двигавшееся со скоростью 400—600 км/ч, с высотой волны до 10 м, обрушившееся на остров Хонсю. Цунами разрушило инфраструктуру побережья (промышленные объекты, транспортную сеть) и спровоцировало ряд пожаров и взрывов. Землетрясения и цунами (естественные опасности) серьезно нарушили работу четырех блоков АЭС «Фукусима 1», создав повышенное радиационное загрязнение на обширной территории около АЭС (техногенные опасности).

Виды и количество крупнейших стихийных явлений в мире с 1950 по 2000 г приведены на рис. 2.44. Следует отметить устойчивую тенденцию к росту количества землетрясений, наводнений и ураганов в период 1998—2011 гг.

Анализ современного мира опасностей, возникающих из-за влияния на человека и окружающую его среду избыточных потоков веществ, энергии и информации, показывает рост номенклатуры опасностей, уровня и масштабов их воздействия. Негативное воздействие опасностей в наивысшей степени проявляется в условиях техносферы, где господствуют постоянно- действующие техногенные, антропоген-



**Рис. 2.44.** Виды и число крупных стихийных явлений в год с 1950 по 2000 г.



эний

233

ные, антропогенно-техногенные и естественные опасности. Стремительно растет число чрезвычайных опасностей в региональных и глобальных масштабах. Непрерывно растет ущерб от воздействия опасностей. На рис. 2.45 показана динамика ЧС в конце XX — начале XXI в. в России.

#### Контрольные вопросы

1. Какие процессы определяют взаимодействие человека и природной среды?
2. Охарактеризуйте опасные зоны естественной радиации.
3. В чем состоит причина возникновения антропогенных опасностей?
4. Перечислите локально действующие на человека техногенные опасности.
5. Что такое «эффективная эквивалентная доза радиации»? В каких единицах она измеряется?
6. Какие источники ионизирующего излучения в быту вы знаете?
7. Что такое кислотные дожди и каковы причины их возникновения?
8. Что такое парниковый эффект? Проанализируйте основные теории, объясняющие его развитие.
9. Каковы техногенные воздействия на гидросферу?
10. В чем состоят основные техногенные воздействия на литосферу? Каковы последствия загрязнения почв?
11. В чем состоит опасность теплового загрязнения окружающей среды?